

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

Programa de Engenharia Urbana

POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DOS MEIOS DE TRANSPORTE
UTILIZADOS NA COLETA SELETIVA E PROPOSIÇÃO DE MODELO
PARA O RIO DE JANEIRO/RJ

Moises Leão Gil

2017



Universidade Federal do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

Programa de Engenharia Urbana

Moises Leão Gil

POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DOS MEIOS DE TRANSPORTE
UTILIZADOS NA COLETA SELETIVA E PROPOSIÇÃO DE MODELO
PARA O RIO DE JANEIRO/RJ

Rio de Janeiro
2017



UFRJ

Moises Leão Gil

POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DOS MEIOS DE TRANSPORTE
UTILIZADOS NA COLETA SELETIVA E PROPOSIÇÃO DE MODELO PARA O
RIO DE JANEIRO/RJ

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientador: Prof. Giovani Manso Avila. D.Sc.

Rio de Janeiro
2017

GIL, Moises Leão
POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DOS MEIOS DE TRANSPORTE
UTILIZADOS NA COLETA SELETIVA E PROPOSIÇÃO DE MODELO PARA O
RIO DE JANEIRO/RJ / Moises Leão Gil. – 2017.

91 p : il. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) –
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica,
Programa de Engenharia Urbana, Rio de Janeiro, 2017.

Orientador: Giovani Manso Avila

1. Resíduos Sólidos 2. Coleta Seletiva 3. Transporte 4. Planejamento Urbano I.
AVILA, Giovani Manso. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola
Politécnica. III. Título. POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DOS MEIOS DE
TRANSPORTE UTILIZADOS NA COLETA SELETIVA E PROPOSIÇÃO DE MODELO
PARA O RIO DE JANEIRO/RJ.



UFRJ

POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DOS MEIOS DE TRANSPORTE
UTILIZADOS NA COLETA SELETIVA E PROPOSIÇÃO DE MODELO
PARA O RIO DE JANEIRO/RJ

Moises Leão Gil

Orientador: Prof. Giovani Manso Avila, D.Sc.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Aprovada pela Banca:

Presidente, Prof Giovani Manso Avila, D.Sc., PEU/POLI/UFRJ

Prof. Armando Carlos De Pina Filho, D. Sc., PEU/POLI/UFRJ

Profª. Barbara Franz D.Sc., Departamento de Análise Geoambiental/UFRJ

Rio de Janeiro
2017

Dedico este trabalho a todos os catadores e catadoras de materiais recicláveis que de alguma forma contribuíram para mudança da minha visão do mundo e a ter novos ideais.

“Restará sempre muito a fazer...”

Lema da Hidrologia

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha filha Julia, principal razão da minha vida e busca para me aprimorar.

Aos meus pais José Affonso e Altiva Angela, e irmãos Andrea e Paulo, cunhados, sobrinhas e sobrinho por todo apoio sempre.

A minha querida vó “Tíva” por todo amor oferecido ao longo de minha vida.

A minha querida noiva Maguzinha, companheira em todos os momentos ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

A todos meus queridos familiares, amigos e amigas que de alguma forma contribuíram para meu desenvolvimento pessoal e social. Em especial ao Ronaldo Lyrio, pelas conversas, cervejas, maníobas e ajuda no geoprocessamento.

Ao Sport Club Corinthians Paulista por ser minha fonte de fé e esperança.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana - PEU e meu orientador Giovani Avila pelos aprendizados, orientação e apoio para o desenvolvimento desta pesquisa.

As cooperativas e associações de catadores ATLIMAJOM/MG, COOTRABOM/RJ e Recicla Jacobina/BA, pelo apoio no desenvolvimento do estudo.

RESUMO

GIL, M. L. POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DOS MEIOS DE TRANSPORTE UTILIZADOS NA COLETA SELETIVA E PROPOSIÇÃO DE MODELO PARA O RIO DE JANEIRO/RJ. Rio de Janeiro, 2017. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

A geração de resíduos sólidos aumentou drasticamente nos últimos séculos devido ao aumento populacional, evidenciado de forma desenfreada a partir do século XVIII com a revolução industrial. Países de primeiro mundo começaram a tomar medidas legais e operacionais a partir da década de 70 para mitigar os impactos causados pela gestão inadequada dos resíduos sólidos. No Brasil, o assunto começou a ser tratado com mais seriedade a partir dos anos 2000. Este trabalho visa avaliar a eficiência econômica e ambiental e os impactos no tráfego urbano de modelos de coleta e transporte de materiais recicláveis porta-a-porta, por meio da análise dos três modelos em execução no Brasil, a saber: caminhão compactador, caminhão baú e veículo de motor à combustão não tripulado, associado a um ponto de apoio. Por fim, o trabalho apresenta proposições de sistemas de coleta para o município do Rio de Janeiro/RJ. Devido à escassa literatura encontrada relacionada ao transporte e coleta seletiva, esta análise pretende contribuir como subsídio à tomada de decisão por parte dos órgãos e instituições responsáveis pela gestão de resíduos sólidos municipais e no planejamento do melhor meio de transporte para este fim, levando em consideração as características locais. O trabalho corrobora com a tese de que o planejamento adequado para a otimização de recursos, eficiência e qualidade na prestação de serviços é fundamental para a implementação e manutenção dos programas de coleta seletiva, tendo em vista o atendimento à Política Nacional dos Resíduos Sólidos.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos, Coleta Seletiva, Transporte, Planejamento Urbano e Territorial.

ABSTRACT

GIL, M. L. POTENTIAL AND LIMITATIONS OF THE TRANSPORT USED IN SELECTED COLLECTION AND MODEL PROPOSAL FOR RIO DE JANEIRO / RJ. Rio de Janeiro, 2017. Master's Thesis – Urban Engineering Program, Polytechnic School, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

The generation of solid waste has increased dramatically in recent centuries due to the population increase, evidenced unrestrained from the eighteenth century onwards with the industrial revolution. First-world countries began to take legal and operational measures from the 1970s onwards to mitigate the impacts caused by inadequate solid waste management. In Brazil, the subject began to be treated more seriously from the 2000s. This work aims to analyze the economic and environmental efficiency and impacts on urban traffic models for collection and transportation of recyclable materials door-to-door, through a comparative study of three models running in Brazil, namely: truck compactor, box truck and motor vehicle combustion, unmanned, associated with a point of support. Finally, the study presents propositions of collection systems for the municipality of Rio de Janeiro / RJ. This study is important to give subsidy for decision making by the bodies responsible for managing municipal solid waste and planning the best model of transport for this purpose, according to the local characteristics. The work confirms the thesis that proper planning for resource optimization, efficiency and quality in service delivery is a key activity to the implementation and maintenance of selective collection programs, in a way to keep compliance with the National Policy on Solid Waste.

Keywords: Solid Waste, Selective Collect, Transport, Urban and Territorial Planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Catadora do lixão de Jacobina/BA, 2012.	17
Figura 2: Sistema de coleta seletiva em Charlottenburg/Alemanha, 1903	23
Figura 3: Sistema de coleta a vácuo estacionário desenvolvido pela ENVAC	35
Figura 4: Sistema de coleta a vácuo móvel desenvolvido pela ENVAC.	35
Figura 5: Municípios com coleta seletiva no ano de 2014.	38
Figura 6: Veículos utilizados na coleta de resíduos sólidos no Brasil.	42
Figura 7: veículo elétrico não tripulado	42
Figura 8: veículo de motor a combustão não tripulado.	43
Figura 9: Fluxograma da metodologia aplicada.	45
Figura 10(a): Rotas do caminhão da ATLMARJOM (17,1 km) e (b)do veículo não tripulado com motor de combustão da Recicla Jacobina (3,6 km), respectivamente, mensuradas com o aplicativo “minha rota”	47
Figura 11: Localização dos municípios do Rio de Janeiro/RJ, João Monlevade/MG e Jacobina/BA.	50
Figura 12: Localização do município do Rio de Janeiro/RJ.	51
Figura 13: Áreas de Planejamento do Município do Rio de Janeiro.	51
Figura 14: composição do lixo domiciliar e de sua fração reciclável.	53
Figura 15: Fluxo dos resíduos coletados no município do Rio de Janeiro.	54
Figura 16: Caminhão utilizado na coleta seletiva do Rio de Janeiro.	55
Figura 17: Localização das centrais de triagem (verde) cooperativas e associações (vermelho) que recebem o material reciclável da coleta da COMLURB.	56
Figura 18: Localização do município de Jacobina/BA.	58
Figura 19: Composição gravimétrica dos resíduos de Jacobina/BA.	60
Figura 20: Ecoponto e catadores com veículo de coleta mecanizado em Jacobina/Ba.	61
Figura 21: Fluxograma do corredor logístico da coleta com ecoponto (transbordo).	63
Figura 22: Setores de coleta seletiva de Jacobina.	64
Figura 23: Localização do município do João Monlevade/MG.	65
Figura 24: Composição dos materiais recicláveis coletados em João Monlevade/MG ao longo de 2015.	67
Figura 25: Caminhão utilizado na coleta seletiva em João Monlevade.	68
Figura 26: Comparação dos custos totais por tonelada, 10 quilômetros rodados e viagem dos 3 meios.	73
Figura 27: Mapa hipsométrico revelando a morfologia do relevo do Rio de Janeiro.	77
Figura 28: Mapa de declividade e suas implicações sobre o desenho viário e urbano da cidade.	78
Figura 29: Mapa de população por Bairro.	79
Figura 30: Mapa de densidade demográfica (hab/ha) por Bairro.	80
Figura 31: Mapa das extensões viárias em quilômetros por hectare nos bairros.	81
Figura 32: Mapa da relação de habitantes por quilômetros de via por bairros.	82
Figura 33: Mapa de Renda Média Familiar (R\$) por Bairro.	83
Figura 34: Mapa das extensões viárias em quilômetros por bairros.	84
Figura 35: Quantidade de Material Reciclável gerado por dia por bairro.	85
Figura 36: quantidade de materiais recicláveis gerados por quilometro e por bairro.	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Produção per capita de Lixo Domiciliar por Área de Planejamento.....	53
Tabela 2: Produção média mensal da Recicla Jacobina entre os anos de 2013 a 2015. .	64
Tabela 3: Análise comparativa das dimensões e capacidades levantados para cada meio de transporte estudado.....	69
Tabela 4: tempo médio e quilometragem média por rota de cada meio de transporte estudado.....	69
Tabela 5: Comparação dos custos dos fixos e custos variáveis para cada meio de transporte utilizado.....	71
Tabela 6: Simulação dos custos totais por tonelada, 10 quilômetros rodados e viagens.....	72
Tabela 7: População, densidade demográfica e quantidade de material reciclável prevista a ser gerada em cada área de planejamento do Rio de Janeiro.....	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres

AP – Área de Planejamento

ATLIMARJOM - Associação dos Trabalhadores da Limpeza e de Materiais Recicláveis de João Monlevade

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CE – Comunidade Européia

CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem

COMLURB - Companhia Municipal de Limpeza Urbana

COOTRABOM - Cooperativa dos Trabalhadores do Complexo de Bonsucesso Ltda

CTR - Central de Tratamento de Resíduos

EPA - Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América)

ETR - Estação de Transferência de Resíduos

IDH - Índice de Desenvolvimento Humano

NBR – Norma Brasileira

PET - Politereftalato de etileno

PEV – Ponto de Entrega Voluntária

PMGIRS - Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

PMISB - Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico

PNRS - Política Nacional dos Resíduos Sólidos

RSD - Resíduos Sólidos Domiciliares

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SUMÁRIO

SUMÁRIO	14
1. INTRODUÇÃO	15
1.1. CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA ESPERADA	19
1.2. OBJETIVO GERAL.....	20
1.2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO.....	21
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	22
2.1. RECICLAGEM E COLETA SELETIVA	22
2.2. LEGISLAÇÃO	25
2.2.1. EUROPA.....	25
2.2.2. CANADÁ	27
2.2.3. ESTADOS UNIDOS.....	28
2.2.4. BRASIL.....	29
2.3. SISTEMAS DE COLETA SELETIVA	31
2.3.1. SISTEMAS DE COLETA SELETIVA EM PAÍSES EUROPEUS.....	31
2.3.2. BRASIL E A COLETA SELETIVA	37
3.1. METODOLOGIA APLICADA.....	45
3.2. RIO DE JANEIRO.....	50
3.3. JACOBINA.....	57
3.4. JOÃO MONLEVADE	65
3.5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	68
3.5.1. DISCUSSÕES.....	72
4. PROPOSTA DO MODELO DE COLETA SELETIVA PARA O RIO DE JANEIRO.....	75
4.1. ANÁLISE DO RELEVO	76
4.2. ANÁLISE POPULACIONAL	78
4.3. DENSIDADE VIÁRIA	80
4.4. CORRELAÇÃO VIAS X RENDA X RECICLÁVEIS GERADOS.....	82
4.5. SUGESTÃO DE IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE COLETA SELETIVA.....	86
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

1. INTRODUÇÃO

Com o crescente incremento populacional, resultado da vida em comunidade, e a voraz ocupação do espaço, evidenciado de forma desenfreada a partir do século XVIII com a Revolução Industrial, aflora um dos mais graves problemas ambientais: o aumento constante de resíduos sólidos nas cidades. Tomando como base esta premissa, poder-se-ia ter o lixo como um dos mais antigos focos abordados em trabalhos de natureza social, econômica e ambiental.

O termo lixo define tudo aquilo que deixa de ter utilidade e é jogado fora, e que se apresenta em estado sólido ou semissólido. É produzido praticamente em todas as atividades humanas e composto por uma grande diversidade de substâncias.

A concentração de geração desses resíduos ocorre principalmente nas áreas urbanas, agravando-se e alcançando até mesmo proporções dramáticas nas grandes metrópoles brasileiras, onde é alta a concentração populacional e de consumo. A problemática do lixo urbano decorreu da associação entre a precária ou total inexistência de infraestruturas adequadas às cidades e à falta de consciência ecológica, conduzindo a um quadro de caos (SILVA et al, 2001).

Dentro do saneamento básico que é composto pelos sistemas de abastecimento de água, de esgotamento sanitário, de manejo de águas pluviais e de resíduos sólidos, estabeleceu-se naturalmente uma prioridade, dando-se uma importância maior aos sistemas de abastecimento de água, relegando a segundo plano o sistema de coleta e tratamento dos esgotos urbanos seguido da limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e do manejo das águas pluviais urbanas.

A Norma Brasileira - NBR 10004/2007 classifica os resíduos sólidos segundo a sua origem: industriais, urbanos, de serviços de saúde, de portos, de aeroportos, de terminais rodoviários e ferroviários, agrícolas, radioativos e entulho.

Segundo Monteiro et al., (2001), os problemas ocasionados pela disposição inadequada de resíduos sólidos que podem ser mencionados são apresentados na sequência:

- Poluição visual, associado principalmente ao ponto de vista estético, desvalorizando áreas próximas aos locais de disposição inadequada do lixo.

- Poluição de corpos d'água e águas subterrâneas, provocadas pela infiltração de chorume no subsolo, carregando consigo metais pesados, compostos tóxicos e agentes patogênicos nocivos à saúde pública.

- Poluição atmosférica, devido à decomposição anaeróbia do lixo sem tratamento, formando verdadeiros bolsões de gases, gerando alguns de características tóxicas e inflamáveis (gás sulfídrico e metano). Também pode-se verificar a queima ao ar livre do lixo, provocando emissões tóxicas a atmosfera.

- Degradação de ecossistemas, como os manguezais que são frequentemente aterrados pela má disposição de resíduos sólidos, a exemplo do aterro do Jardim Gramacho, Duque de Caxias/RJ.

- Doenças relacionadas à saúde pública por ser o ambiente propício para abrigar inúmeros seres vivos patogênicos ou vetores de doenças, tais como; ratos, baratas, moscas, cães, aves, suínos, vermes, bactérias, vírus e fungos, oferecendo-lhes, água, abrigo e alimento. Estes vetores quando em contato com o homem são responsáveis pela transmissão de doenças e outras enfermidades lesivas ou até letais, como exemplo, tifo, diarreias infecciosas, amebíases, hepatite, dengue, leptospirose, toxoplasmose, peste suína, peste bubônica, poliomielite e outras.

- Entupimento de galerias de escoamento pluvial, principalmente nas cidades, com o entupimento de galerias de águas da chuva (bueiros), devido à presença do lixo, provocando o alagamento de vias públicas, acarretando em prejuízos materiais e em algumas situações até a mortes de pessoas.

- Problemas de ordem social, um outro ponto importante a ser considerado é que no Brasil, crescimento populacional desenfreado acarretou também num aumento de mão de obra, porém, sem postos de trabalhos suficientes para suprir esta demanda, expondo as pessoas desempregadas e sem qualificações a situações desumanas, encontrando no lixo uma forma de sustento próprio e de suas famílias. Essas pessoas são conhecidas como catadores (MARTINS, et al., 2004).

Os badameiros, pessoas que coletam material recicláveis no lixão, oriundo da coleta de lixo realizada no município (Figura 1), ou catadores, indivíduos que fazem a coleta dos materiais recicláveis nas ruas antes da coleta de lixo municipal, realizam um processo de seleção do material após a destinação do gerador, contribuindo para que uma boa parcela dos resíduos sólidos não seja destinada aos aterros, resultando num menor impacto ao meio ambiente e custos para o município. Em contrapartida essas pessoas acabam muitas vezes encontrando um ambiente de trabalho totalmente insalubre e trabalham sem nenhuma proteção, ocasionando diversos males a saúde.



Figura 1: Catadora do lixão de Jacobina/BA, 2012.

Fonte: O próprio autor, 2012.

Esses indivíduos comercializam o material coletado com sucateiros e atravessadores, que compram o material reciclável a um preço muito baixo, explorando totalmente o trabalho do catador. Os atravessadores por sua vez, repassam o material para indústrias recicladoras em grandes quantidades, obtendo um lucro muito elevado na venda. No final da década de 80, iniciativas de sociedade civil, com apoio de governos locais, criaram associações e cooperativas de catadores, no intuito de que estes

trabalhem juntos, num ambiente saudável e seguro, nos processos de coleta seletiva dos materiais recicláveis previamente separados pelo gerador, beneficiamento e comercialização dos materiais recicláveis, eliminando a figura do atravessador, e com isso agregando um maior valor aos materiais recicláveis por eles trabalhados.

No início dos anos 2000 diversas iniciativas foram realizadas visando o fortalecimento das organizações de catadores e catadoras de materiais recicláveis. Dentre elas, a de maior relevância é o Decreto Federal Nº 7405/2010, que estabelece o programa “Pró-Catador”.

O Programa Pró-Catador tem como objetivo a inclusão sócio produtiva dos catadores e catadoras de materiais recicláveis por meio de ações de levantamento dos catadores por região, capacitação, constituição jurídica de associações e cooperativas, assessoria técnica, consultorias específicas para a produção de informações que possibilite a atuação gestão dos resíduos urbanos e logística reversa; disponibilização de infraestrutura física e equipamentos (BRASIL, 2010).

As associações e cooperativas de catadores tem papel fundamental na gestão dos resíduos urbanos, contribuindo para o retorno das embalagens à cadeia produtiva, reduzindo os custos públicos com a destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos - RSU, e sendo um importante canal para a consolidação de programas de logística reversa (LEITE, 2009).

Ainda em 2010, com o advento da lei 12.305/2010, da Política Nacional dos Resíduos Sólidos, todos os municípios da federação ficam obrigados a encerrar seus vazadouros a céu aberto e destinar os seus resíduos, que não forem passíveis de reciclagem, para aterros sanitários. A lei também prevê a implantação e expansão progressiva da coleta seletiva solidária municipal com a participação de organizações de catadores de materiais recicláveis. A coleta seletiva solidária é um instrumento de gestão ambiental que deve ser implementado visando à recuperação de material reciclável para fins de reciclagem.

Contudo, um dos principais gargalos para que a reciclagem se torne eficiente encontra-se na etapa de coleta dos materiais recicláveis, e dois fatores contribuem para isso. O primeiro é devido ao fato dos materiais recicláveis possuírem um volume elevado em relação ao seu peso e ao planejamento inadequado por parte do poder

público, muitas vezes a coleta acaba não sendo economicamente viável. O segundo fator está relacionado a uma questão cultural, onde no Brasil a questão da educação ambiental voltada para coleta seletiva sempre foi tratada de forma muito superficial, fazendo com que a maioria da população não tenha o hábito de separar os materiais recicláveis.

Bringhenti (2004), aponta que com o fato da destinação dos resíduos sólidos significar uma ameaça à saúde pública e ao meio ambiente, é necessário um bom planejamento para seu gerenciamento, com base nos conhecimentos em engenharia sanitária, economia, administração, e demais áreas afins, utilizando-se técnicas mais adequadas de manejo e evitando custos elevados que inviabilizem a sua execução.

Diversos trabalhos realizados sob uma perspectiva mundial e Desenvolvimento Sustentável, ilustram diferentes e possíveis soluções para o controle e reciclagem da grande quantidade de lixo produzida pela população mundial.

Assim, o presente estudo visa analisar as potencialidades e limitações de modelos de coleta e transporte de materiais recicláveis porta-a-porta através de um estudo comparativo de três modelos em execução no Brasil, a saber: caminhão compactador, caminhão baú e veículo de motor de combustão não tripulado associado a um ponto de apoio.

Este último modelo, que tem como base o veículo de motor de combustão não tripulado associado a um ponto de apoio vem sendo utilizado recentemente por cidades de pequeno, médio porte e grande porte, a exemplo do município de Caetitê/BA, Jacobina/BA, João Monlevade/MG e Belo Horizonte/MG.

1.1. CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA ESPERADA

Pretende-se que esse estudo possa colaborar na escolha da “metodologia mais adequada” para prestação dos serviços de coleta seletiva para diferentes tipos de cidades (população, adensamento, relevo, uso e ocupação do solo), focando na redução do impacto ambiental causado pelo tratamento e disposição final dos resíduos sólidos de forma inadequada, aumento da vida útil dos aterros sanitários que atende a estes

municípios e melhorias locais no tráfego urbano, resultando na geração de informações de importância significativa para uma melhora na qualidade de vida da comunidade local e dos catadores, redução de gastos públicos com os serviços de coleta, com possibilidades de aumento de postos de trabalhos e formação multiplicadores do trabalho de coleta seletiva de materiais recicláveis.

Cabe ressaltar que é importante o levantamento de informações que contribuam para um melhor entendimento e busca por melhorias no sistema de logística da coleta de materiais recicláveis, adaptando-as conforme as características da cidade (população, adensamento, relevo, uso e ocupação do solo), reduzindo os gastos públicos com saneamento e saúde, e melhorando as condições de trabalho e qualidade de vida das pessoas envolvidas na execução dos serviços.

Desta maneira, o presente estudo é importante no subsídio de informações para a tomada de decisão por parte dos órgãos e instituições responsáveis pela gestão de resíduos municipais no planejamento de qual o melhor meio de transporte a ser utilizado de acordo com as características locais.

1.2. OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como principal objetivo analisar as potencialidades e limitações dos sistemas de logística de coleta seletiva no Brasil, subsidiando gestores de informações que possibilitem uma coleta seletiva socioeconômica e ambientalmente eficiente.

1.2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar informações que possam indicar o estado da arte da coleta seletiva
- Analisar e revisar legislação aplicada no Brasil e no mundo;

- Verificar quais são os sistemas de coleta seletiva implantados em outros países e no Brasil;
- Escolher municípios brasileiros que utilizem diferentes formas de coleta como estudo de caso.
- Propor um modelo de uso de mais de um meio de transporte para realização da coleta seletiva para o município do Rio de Janeiro/RJ.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

O presente trabalho segue a seguinte divisão de capítulos:

- O primeiro capítulo é composto pela introdução, contribuição científica esperada e objetivos.
- No segundo capítulo é abordado referencial teórico acerca do tema, arcabouço legal e sistemas de coleta seletiva adotados no Brasil e em outros países.
- No capítulo 3 é apresentada a metodologia e os estudos de caso de 3 municípios que apresentam diferentes meios de transporte para realização da coleta seletiva, resultados e discussões.
- O capítulo 4 do trabalho apresenta a proposição do modelo de coleta seletiva para o Rio de Janeiro,
- O Capítulo 5 fecha o trabalho com as considerações finais e sugestões.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. RECICLAGEM E COLETA SELETIVA

Os serviços de coleta de lixo tiveram início a partir da pavimentação de vias, possibilitando a circulação de carroças. As primeiras referências de sistemas de coleta seletiva datam do ano de 1340, em Praga, com o uso de carroças, seguido de Paris, no final do século XIV, Bruxelas em 1560, e Viena e Londres na segunda metade do século XV. Também na segunda metade do século XV, em Stettin, teve início a cobrança pelos serviços de coleta, onde exigia-se do cidadão um tonel para o lixo. O tema da cobrança pela coleta do lixo e o uso de coletores adequados é, até hoje em dia, um ponto decisivo na limpeza urbana. Normalmente esses serviços eram prestados por entes privados e, em poucos casos, pelo poder público, que normalmente usavam a mão de obra de prisioneiros e prostitutas, o que pode ter dado origem à desqualificação do trabalho com lixo (EIGENHEER, 2009).

Na segunda metade do século XIX, impulsionado pela revolução industrial, os centros urbanos começaram a tratar a questão do saneamento, e consequentemente do lixo, com mais seriedade, com o objetivo de reduzir a propagação de pestes e doenças. Com isso, os modelos existentes foram aperfeiçoados, como a queima do lixo com o uso de incineradores, sendo que em Londres já haviam 121 incineradores em 1900, e a implantação de sistemas de coleta diferenciados, como o de Sistema de Coleta Seletiva de Lixo em Charlottenburg/Alemanha, em 1903 (EIGENHEER, 2009), conforme observado na figura 2.

Os primeiros relatos quanto ao reaproveitamento da fração reciclável do lixo por meio do uso de usinas de triagem ocorrem em Bucarest em 1895 e München em 1898 (EIGENHEER, 2009). A coleta seletiva de lixo inicia-se nos Estados Unidos e chega depois à Europa, ainda que de forma incipiente, sendo implementados seriamente a partir da metade do século XX, com os primeiros registros de programas de coleta seletiva e reciclagem sendo datados no período da Segunda Guerra Mundial, onde países europeus e os Estados Unidos faziam campanha para que a população destinasse as sucatas metálicas e de papel para reciclagem, afim

de abastecer a indústria bélica de matéria prima (SANTOS, 1995 apud RIBEIRO, 2000).



VEÍCULO COLETOR DE PAPÉIS, CACOS, TRÁPOS E METAIS.

Figura 2: Sistema de coleta seletiva em Charlottenburg/Alemanha, 1903

Fonte: EIGENHEER, 2009.

Assim, quadros de crise financeira e a limitação de recursos naturais, associado ao prejuízo ao meio ambiente e à saúde pública, devido à disposição inadequada dos resíduos, fez com que a sociedade se conscientizasse quanto à necessidade de fazer a reciclagem. Com isso, o retorno dos resíduos recicláveis à cadeia produtiva como matéria-prima para a produção de novos produtos se estabeleceu por necessidades eventuais, como em épocas de crise e escassez, vivenciadas durante as duas últimas grandes guerras (WELLS, 1995 apud PERIOTTO, 2013).

A coleta seletiva é uma forma de minimizar os impactos causados pela geração desenfreada de resíduos sólidos, uma vez que a parcela dos resíduos sólidos passíveis de reciclagem são segregados diretamente na fonte e em seguida são encaminhados para centrais de triagem onde é feita uma separação mais minuciosa por composição química e cor, depois são compactados, estocados e comercializados para as indústrias recicladoras, onde são novamente inseridos na cadeia produtiva, reduzindo-se os custos com sua disposição em aterros, extração de matéria-prima e mitigando os impactos ambientais causados pela ausência de um gerenciamento eficaz dos resíduos sólidos.

Segundo Ribeiro e Besen (2006), a coleta seletiva desempenha uma função fundamental na gestão integrada dos resíduos sólidos sob diversos modos: promove a

prática da segregação dos resíduos sólidos diretamente no gerador para posterior aproveitamento, fomenta a prática de ações de redução de consumo e desperdício através da educação ambiental, promove a inclusão socioeconômica de catadores de materiais recicláveis e propicia um melhor resíduo orgânico para a compostagem.

Para Cunha e Caixeta Filho (2002), a operação da coleta de resíduos inicia-se com a saída do veículo da garagem, seguindo do deslocamento até roteiro de coleta, abrangendo todo o trajeto gasto na viagem para remoção dos resíduos dos pontos de coleta, transporte até transbordos e/ou destino final (usinas de triagens, aterros, cooperativas de catadores), até o retorno ao ponto de partida.

Entretanto, o uso de um sistema de coleta dos materiais recicláveis inadequado pode ser um grande empecilho para o sucesso da operação da coleta seletiva. Devido ao mal planejamento por parte do poder público e ao fato dos materiais recicláveis possuírem um volume elevado em relação ao seu peso, muitas vezes a coleta acaba não sendo economicamente viável.

Oliveira (2002) considera dois pontos fundamentais para analisar a participação dos resíduos nos custos de transporte e disposição final. O primeiro ponto se trata da tipologia e estado do resíduo descartado, levando em consideração se o material está inteiro, quebrado, fragmentado ou prensado, conforme for apropriado para cada tipo de resíduo recolhido. Já o outro ponto importante para a definição da relação custo-benefício da coleta seletiva é a análise econômica e a composição gravimétrica dos resíduos sólidos. O autor atenta para o fato que fatores como massa específica (peso/volume), principalmente de embalagens de PET e frascos de vidro possuem baixa capacidade de compactação, fazendo com que os caminhões compactadores não consigam operar em capacidade máxima, aumentando o tempo de serviço e, conseqüentemente, os custos inerentes da atividade. Segregados na fonte, o material reciclável, além de otimizar o uso dos caminhões compactadores na coleta do lixo, propicia receita que pode reduzir os custos de coleta.

Martins (2002), apud BESEN (2006), aponta que nos países desenvolvidos a gestão dos resíduos sólidos passou por 3 momentos específicos: o primeiro, durante os anos 70, focado na destinação final; o segundo, durante os anos 80, focado na redução e reciclagem; e o terceiro, depois da década de 90, com o estabelecimento de leis e

normas para redução da geração de resíduos, implantação da coleta seletiva, reciclagem e aproveitamento energético.

2.2. LEGISLAÇÃO

2.2.1. EUROPA

A União Europeia vem elaborando várias normas relacionadas a gestão adequada dos resíduos sólidos, entre elas as Diretivas 94/32/CE , 2004/12/CE, 2006/12/CE e 2008/98/CE, relativas a embalagens e a coleta seletiva, sendo que a primeira, de 1994, determina que para o período de 5 anos após a publicação da presente diretiva no mínimo 50% e no máximo 65% das embalagens deverão ser recuperadas, e a segunda diretiva estabelece que até 31 de Dezembro de 2008, no mínimo 60% dos resíduos de embalagens serão recuperados ou incinerados para recuperação energética e entre 55% a 80% das embalagens serão recicladas. Já a terceira diretiva define o enquadramento legal para o tratamento dos resíduos reafirmando as diretrizes anteriores quanto ao incentivo, à valorização dos resíduos e à utilização desses materiais como matérias-primas, a fim de preservar os recursos naturais e limitando a geração de resíduos (JURAS, 2012). A diretiva 2008/98/CE define a coleta seletiva como um fluxo onde os resíduos são mantidos separados, por tipo e natureza, de modo a facilitar um tratamento específico. Os modelos de coleta são definidos com base na distância em que os cidadãos precisam se deslocar para a destinação, podendo a coleta ser porta-a-porta; coletores localizados nas calçadas, com distancias de aproximadamente de 50 m entre um ponto e outro; e pontos de entrega voluntária, onde as distancias entre os postos de entrega superam os 100 metros entre um posto e outro (GALLARDO, 2012).

A Alemanha, referência mundial em tratamento de resíduos sólidos, com mais de 63% de seus resíduos tratados, sendo 45% reciclados (EUROSAT, 2013), foi o país pioneiro na aplicação de medidas para a gestão adequada dos resíduos. O país adota leis a níveis da União Europeia e Federal, onde já em 1957, com a lei de Manejo de Águas, apresenta ao cidadão como armazenar e destinar seus resíduos, seguido da

regulamentação dos aterros sanitários em 1972 com a Lei de Tratamento de Resíduos e das novas disposições incluídas na Lei de Reciclagem e Gestão de Resíduos. Inicialmente com a lei Minimização e Eliminação de resíduos de 1986, e posteriormente com a ordenação que estabeleceu o sistema de coleta seletiva de embalagens, o sistema Dual, financiado com recursos do “Ponto Verde”, que se trata de uma tarifa de limpeza urbana. O foco inicial desse sistema era direcionar as embalagens para a reciclagem. Contudo, tempos depois, foi aceita a incineração de parte desses materiais para geração de energia (EIGENHEER, 2009). Em seguida, a lei de Economia de ciclo integral e gestão de resíduos de 1994, responsabilizando o fabricante por todo o ciclo de vida do produto fabricado, desde sua fabricação até sua reinserção na cadeia produtiva. Para alcançar esse objetivo os setores da indústria e de comércio criaram uma organização sem fins lucrativos para gerir a execução dos serviços de coleta seletiva, realizando a coleta, seleção e valorização das embalagens. Transpondo a Diretiva 2008/98/CE da União Europeia, a Alemanha criou a “lei de gestão de resíduos em circuito fechado”, que entrou em vigor em 1 de junho de 2012. Esta lei determina que Até 2015, os resíduos de bio-resíduos, papel, metal, plástico e vidro devem ser coletados separadamente em todo o país, e implica taxas de reciclagem mais exigentes do que as metas de reciclagem estabelecidas ao nível da União Europeia, colocando que até 2020, 65% de todos os resíduos domésticos e 70% de todos os resíduos de construção e demolição serão reciclados (EIGENHEER, 2009).

Na França, destacasse a legislação a respeito da valorização das embalagens, onde desde 1994 os fabricantes e distribuidores de embalagens tem opções de valorizar as embalagens em suas próprias instalações, devidamente aprovadas para tais atividades; ceder por contrato para instalações já aprovadas para a valorização dos resíduos; ou ceder por contrato a um intermediário, que se encarregará do transporte, comercialização e intermediação (JURAS, 2005).

Já a Espanha, com a lei 11/97, foi iniciada a coleta seletiva em larga escala em todo o país e definidas metas para recuperação de embalagens, visando seguir as instruções normativas da União Européia, aprovou três regulamentações que merecem destaque: a lei 10/98 de gestão de resíduos, que prevê a elaboração de planos nacionais de resíduos e regulação das atividades de todos os entes envolvidos nas etapas de produção, importação e distribuição de produtos que gerem resíduos, tais como o uso de

produtos que favoreçam a valorização, reutilização e reciclagem de seus resíduos e informar anualmente aos órgãos competentes os resíduos produzidos no processo de fabricação e o resultado qualitativo e quantitativo das operações efetuadas (JURAS, 2012). Essas empresas envolvidas na geração de resíduos de embalagens adotam um valor a ser cobrado pela embalagem no momento de venda do produto, devendo esse valor ser devolvido integralmente quando esta embalagem é devolvida no local de compra. Já nos anos 2000, o decreto real 252/2006 e a lei 22/2011, adaptaram a legislação espanhola as diretrizes da União Européia, estabelecendo que a administração pública apresente programas de prevenção e redução de resíduos gerados, com o objetivo de em 2020 reduzir em 10% em peso dos resíduos gerados em relação a 2010 (GALLARDO, 2012; JURAS, 2012).

Em 1994, foi introduzida na Suécia uma lei de responsabilidade do produtor para embalagens. A política ambiental determina que os resíduos de embalagens recuperados ao máximo, visando maiores benefícios ambientais e sociais. Todas as partes envolvidas no ciclo do material participam deste trabalho, dos produtores ao consumidor final. Esta portaria exige que os produtores de materiais de embalagem forneçam um sistema de coleta, definido pelos produtores e autoridades locais. O sistema de coleta inclui estações de entrega de materiais recicláveis e coleta porta-a-porta. O sistema de coleta é formado em conjunto com os produtores e as autoridades locais. Para o consumidor final fica a responsabilidade de separar os resíduos e destinar nos moldes em execução no seu município, sendo sua participação obrigatória. Contudo, na realidade a participação do consumidor final raramente é controlada e aplicada. No entanto, as estatísticas oficiais mostram que a taxa de separação pela população é elevada (MIAFODZYEVA E BRANDT, 2011).

2.2.2. CANADÁ

As primeiras regulações referentes a gestão dos resíduos no Canadá datam de 1989, onde o conselho canadense de ministros para proteção do meio ambiente aprovou lei a nacional de embalagens, onde as indústrias, em comum acordo com o governo, se

comprometeram em reduzir a quantidade de embalagens destinadas a disposição final em 50% até o ano 2000, sendo essa meta alcançada em 1996.

Novas ações foram realizadas nos anos seguintes, como os programas “responsabilidade estendida ao produtor”, onde cabe ao fabricante o manejo dos resíduos ao final da vida útil do produto, sendo o fabricante também responsável pelo aporte de recurso financeiro para destinação correta dos resíduos; e o programa “administração do produto”, no qual o dever para a destinação dos resíduos fica a cargo do poder público.

Contudo, uma pesquisa realizada em 2006 mostrou que não houve grandes avanços na redução da geração de resíduos nos anos anteriores, fazendo com que o governo tomasse novas medidas para mitigar os impactos causados pela geração de resíduos, aprovando em 2009 o “Plano de Ação Nacional do Canadá para a Responsabilidade Estendida do Produtor”, que tem como finalidade fazer com que os produtores incluam o ciclo de vida completo no custo dos produtos (JURAS, 2012).

2.2.3. ESTADOS UNIDOS

Nos Estados Unidos da América – EUA a preocupação com os resíduos sólidos começou na década de 60, com a lei de resíduos sólidos, que teve como objetivo a elaboração de inventários dos aterros sanitários e lixões do país. Já em 1984 foi aprovada a lei de conservação e recuperação relativas a resíduos sólidos e resíduos sólidos perigosos, apontando diretrizes para a disposição final dos resíduos sólidos. Ela também coloca a Agencia de Proteção Ambiental (Environmental Protection Agency – EPA) como órgão fiscal quanto ao cumprimento da legislação por parte dos municípios. Já em 1990 foi criada a lei de prevenção da poluição, onde foram definidas a hierarquia para os procedimentos de gestão dos resíduos sólidos (JURAS, 2012).

Em 2002 a EPA elaborou um documento conhecido como "Além da RCRA: Gerenciamento de Resíduos e Materiais no Ano 2020". O documento aponta a urgência em alterar o modo de gerir os resíduos sólidos, com foco no ciclo de vida dos materiais, reduzindo as perdas e aumentando a reutilização e a reciclagem. Três anos os EUA criaram diretrizes com a finalidade de reciclar 35% dos resíduos urbanos. Em 2009, a

EPA lançou o manual "Sustainable materials management: The road ahead", disponibilizando informações acerca da gestão dos materiais recicláveis (XEVGENOS, 2015).

2.2.4. BRASIL

No Brasil, segundo a Constituição brasileira de 1998, artigo 23, que estabelece a responsabilidade do combate à poluição e à proteção do meio ambiente a todos os campos do poder executivo, permitindo leis próprias a nível estatal no artigo 24, e no artigo 30 auferindo a responsabilidade às prefeituras municipais de implementar ações relacionadas a gestão de resíduos.

Dezenove anos depois, em 2007, foi aprovada a Lei de Diretrizes Nacionais de Saneamento Básico, a lei nº 11.445/07, que inclui a limpeza urbana e o manejo dos resíduos sólidos como serviço pertencente ao saneamento básico. Especificamente com relação à gestão dos resíduos, a referida lei apresenta os princípios do saneamento, cabendo a titularidade dos serviços ao poder público, podendo este terceirizar o serviço por meio de contratos de concessão e garantindo o controle social dos serviços públicos de saneamento. A lei também prevê, em seu artigo 57, uma alteração na lei de contratos e licitações, alterando o inciso XXVII do caput do art. 24 da lei nº 8.666/93 para o seguinte texto:

“Na contratação da coleta, processamento e comercialização de resíduos sólidos urbanos recicláveis ou reutilizáveis, em áreas com sistema de coleta seletiva de lixo, efetuados por associações ou cooperativas formadas exclusivamente por pessoas físicas de baixa renda reconhecidas pelo poder público como catadores de materiais recicláveis, com o uso de equipamentos compatíveis com as normas técnicas, ambientais e de saúde pública”.

Essa alteração permite que o poder público contrate cooperativas e associações de catadores a execução dos serviços de coleta seletiva de materiais recicláveis e destinação final adequada com dispensa de licitação, sendo um instrumento de inclusão socioeconômica dos catadores e catadoras de materiais recicláveis de grande relevância.

Depois de mais de 20 anos tramitando no congresso, a lei 12.305/2010, a Política Nacional dos Resíduos Sólidos – PNRS foi aprovada, tendo como principais fatores a obrigação de todos os municípios da federação de encerrar seus lixões e destinar os seus resíduos, que não forem passíveis de reciclagem, para aterros sanitários, a implantação e expansão progressiva da coleta seletiva solidária municipal, priorizando a contratação de cooperativas e/ou associações de catadores de materiais recicláveis para execução dos serviços de coleta seletiva, como descrito no artigo 36, § 1:

“Para o cumprimento do disposto nos incisos I a IV do caput, o titular dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos priorizará a organização e o funcionamento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda, bem como sua contratação. ”

A coleta seletiva solidária é um instrumento de gestão ambiental que deve ser implementado visando à recuperação de material reciclável para fins de reciclagem (BRASIL, 2010).

Assim como nos países europeus e da América do Norte, a lei brasileira também parte do princípio poluidor-pagador, responsabilizando todos os envolvidos (fabricantes, importadores, distribuidores, comerciante, poder público e consumidor final) no ciclo de vida da embalagem até seu retorno a cadeia produtiva, por meio da logística reversa.

2.3. SISTEMAS DE COLETA SELETIVA

Os sistemas de coleta seletiva implantados pelo mundo variam significativamente, podendo variar de sistemas sem organização nenhuma a sistemas onde o material é separado na fonte em mais de 10 tipos e coletados por veículos com multi-compartimentos. Essa grande variação entre os modelos existentes torna a comparação e análises difíceis de serem realizadas. Os sistemas operacionais utilizados, de forma geral, são o sistema de coleta realizado diretamente na propriedade e o sistema de pontos de entrega (Dahlén e Lagerkvist, 2010b).

Kogler (2007) refere-se ao sistema de coleta realizado diretamente na propriedade sendo o sistema onde o material é coletado no produtor individual (residências). Este serviço pode ser dividido em 2: O sistema *kerbside*, onde cada moradia possui um ou mais containers sendo o morador obrigado a colocar os resíduos nos containers situados nas calçadas para posterior coleta. E o sistema *full-service*, também conhecido como sistema porta-a-porta, onde é facultativo ao morador adotar o uso de containers, coletores ou sacos para dispor os resíduos, que podem ficar armazenados dentro ou fora da residência.

O sistema de pontos de entrega é caracterizado pelo modelo onde o morador leva o material produzido para locais específicos para o descarte correto, que também pode ser dividido em duas categorias: Os postos de entrega, que se tratam de containers de diversos tamanhos situados próximos as residências, com abrangência 1 posto para cada 600 habitantes, como no caso de Aarhus, Dinamarca (LARSEN et al, 2010); e um posto para entre 400 e 1000 habitantes, como nos municípios suecos (DAHLÉN et al, 2007). O outro sistema de entrega são os centros de reciclagem, que se tratam de áreas maiores, com possibilidade de entrega de diversos tipos de materiais, incluindo resíduos volumosos e perigosos, onde cada centro cobre em torno de 6.000 moradores (LARSEN et al, 2010).

2.3.1. SISTEMAS DE COLETA SELETIVA EM PAÍSES EUROPEUS

Assim, como na questão legal, os países europeus foram os primeiros a tratar seriamente a coleta seletiva seus territórios. Com relação a meta estabelecida pela União Europeia, de em 2020 os países membros reaproveitarem pelo menos 50% de seus resíduos, cinco países já haviam alcançado essa meta em 2013, são eles a Áustria, Alemanha, Bélgica, Holanda e Suíça (European Environment Agency, 2013).

A seguir, são apresentadas diferentes tecnologias empregadas na operação da coleta seletiva em países europeus considerados referência.

2.3.1.1. ESPANHA

Gallardo (2010), por meio de uma pesquisa com municípios com populações acima de 50.000 habitantes, verificou a existência de 4 sistemas de coleta seletiva implantado na Espanha. Do total de 137 cidades com a população superior a 50.000 cidadãos, 39 prefeituras responderam à pesquisa. Os 4 sistemas identificados são compostos pelos subsistemas de pontos de entrega e coleta na calçada (*kerbside*).

No primeiro sistema os materiais são separados em 4 tipos: lixo misturado, papel, vidro e embalagens leves. Os papeis, vidros e embalagens leves são destinados a pontos de entrega voluntária - PEV, já o lixo misturado é coletado em lixeiras que ficam a uma distância de 40 m a 60m uma da outra (*kerbside*).

No segundo sistema os materiais também são separados nas mesmas 4 frações, entretanto, as embalagens leves também são coletadas pelo sistema *kerbside*.

A separação feita nos municípios que adotam o terceiro sistema também é feita em 4 tipos, só que dessa vez os resíduos são separados em lixo orgânico e lixo misto, que são coletados pelo sistema *kerbside*, e papel e vidro, coletados via pontos de entrega.

Já no quarto sistema identificado os materiais são segregados em 5 tipos: papel, vidro, embalagens leves, lixo orgânico e lixo misturado. A coleta do lixo orgânico e lixo misturado é feita através do sistema *kerbside*, enquanto a do papel, vidro e embalagens leves são feitas em pontos de entrega.

O estudo indicou que o primeiro sistema é o mais disseminado em municípios com população superior a 50.000 habitantes. Ao analisar a eficiência, os autores observaram que a principal variação entre os sistemas ocorre na coleta das embalagens leves e orgânicos, sendo o sistema 2 considerado o mais eficiente, onde a coleta das embalagens leves é feita pelo sistema *kerbside*. Os autores consideram que esse sistema apresenta maior sucesso por conta da menor distância a ser percorrida pelo cidadão para depositar os resíduos. Contudo, este sistema também é o que apresenta uma maior taxa de resíduos não desejados, pois, segundo os autores, o atraso na coleta dos coletores com orgânicos faz com que essas lixeiras completem sua capacidade, fazendo com que os moradores depositem o lixo orgânico no coletor das embalagens leves. Quanto aos sistemas que adotam pontos de entrega, ficou evidente que a distância entre o morador e os pontos de entrega também influencia significativamente na quantidade coletada, sendo que quanto mais perto, maior a taxa de coleta.

Quanto à inovação nos sistemas de coleta seletiva, Barcelona chamou a atenção do mundo ao sediar os jogos olímpicos de 1992, ao adotar o sistema de coleta à vácuo nas edificações da vila dos atletas. O sistema compreende na instalação de cestos de lixo fixos ligados a um sistema de tubulação subterrâneo que leva, por meio de sucção, os resíduos para uma central e posterior tratamento. Após as olimpíadas, o sistema foi expandido e hoje conta com mais de 42 quilômetros de tubulação subterrânea, 2.100 pontos de descartes e 8 centrais, atendendo cerca de 26% da população de Barcelona. Criado na década de 1960 por uma empresa sueca, hoje conhecida como *Envac*, o sistema será melhor apresentado mais adiante.

2.3.1.2. SUÉCIA

As ações voltadas para a coleta seletiva na Suécia tiveram início em 1994 com a Portaria sobre a Responsabilidade do Produtor, a SFS, 1994. Em 2009, o sistema já possuía na faixa de 6.000 estações de reciclagem (pontos de entrega) espalhados pelo país e em determinadas regiões o material reciclável é coletado diretamente nas residências (MIAFODZYEVA E BRANDT, 2011).

A partir da legislação, as empresas fabricantes de produtos que geram resíduos de embalagens criaram organizações específicas para gerir e executar os serviços de coleta seletiva, podendo essas empresas contratarem empresas públicas ou privadas para realizarem a coleta. Essas organizações se uniram e criaram a “*Förpacknings- och tidningsinsamlingen – FTI. A*” (coleta de embalagens), que ficou responsável por informar, gerir e operar as estações de reciclagem (MATTSSON et al, 2003).

O relatório anual de “Gestão Sueca de Resíduos” de 2016 (RVF, 2016) apresenta, entre outros pontos, os sistemas de coleta e transporte mais utilizados pelos municípios suecos. De uma forma geral, 3 sistemas são adotados: Coleta porta-a-porta, contêiner instalados no subsolo e o sistema à vácuo.

No sistema porta-a-porta, os moradores separam o material em orgânicos, combustíveis, embalagens, jornais e vidro, colocando as lixeiras para coleta em dias específicos. Embora o veículo mais utilizado ainda seja o de carga traseira, vem sendo crescente o uso de veículos multicompartimentados para a realização da coleta. Outro sistema de coleta utilizado é o de triagem óptica, onde são utilizadas sacolas com cores diferenciadas para determinados tipos de materiais que podem ser coletados no mesmo caminhão, reduzindo custos de transporte. Após coletadas, as sacolas vão para centros de triagem, sendo separadas através de leitura óptica, com base na cor do saco.

O sistema de coleta com contêineres instalados no subsolo diminui a necessidade de espaço nas vias públicas, além do fato de a temperatura no subsolo ser inferior, que acaba reduzindo os odores.



Figura 3: Sistema de coleta a vácuo estacionário desenvolvido pela ENVAC
Fonte: ENVAC (2017).

O terceiro sistema utilizado é o sistema a vácuo, também conhecido como sistema pneumático, que apresenta dois modelos, estacionário (figura 3) e móvel (figura 4). O estacionário compreende em lixeiras conectadas a tubos subterrâneos que transportam os resíduos pneumaticamente de forma automática até grandes containers situados em terminais nas adjacências das cidades. Já no sistema móvel, os cestos são conectados a containers localizados no subsolo logo abaixo do cesto. Esses containers são ligados a tubos subterrâneos com terminais em pontos de ancoragem, onde caminhões específicos “sugam” os resíduos por meio da força do ar para dentro dos dispositivos instalados nos caminhões.



Figura 4: Sistema de coleta a vácuo móvel desenvolvido pela ENVAC.
Fonte: ENVAC (2017).

Em um estudo realizado entre 1998 e 2004 que comparou os sistemas de coleta seletiva existente em 6 municípios suecos, DAHLÉN et al (2006) verificou que 5 cidades apresentavam algum tipo de coleta seletiva porta-a-porta para embalagens em paralelo ao sistema de pontos de entrega, e 2 municípios apresentavam coleta seletiva para lixo orgânico. Os autores também observaram que existe uma maior quantidade de pontos de entrega nos municípios que não possuem coleta seletiva porta-a-porta, na ordem de uma estação de reciclagem para cada 400 a 1000 habitantes, em contraposição aos municípios que possuem coleta seletiva porta-a-porta em paralelo ao sistema de pontos de entrega, para cada estação atender entre 2000 e 2500 moradores. Dentre os 6 municípios estudados, um apresentou o sistema de taxa baseada no peso. Esse sistema consiste numa taxa anual acrescida de um valor por quilo de resíduo gerado.

Outra pesquisa realizada na Suécia, os pesquisadores verificaram que 26 municípios, do total de 290 da Suécia, adotavam o sistema de faturamento baseado no peso, atendendo a 9% da população do país, que corresponde a aproximadamente 812.000 habitantes (Dahlén e Lagerkvist, 2010a). O custo é dividido em 2, uma taxa fixa, que corresponde a uma taxa básica e uma taxa da lixeira, com valores entre 69 USD e 283 USD; e um custo com base no peso, que a depender do município varia de 0,18 USD a 0,54 USD. Os valores apresentados foram levantados em 2007. O estudo mostrou uma redução de 20% da coleta per capita em relação aos municípios que não adotam o sistema de faturamento por peso. Contudo, não houve relação com o aumento da taxa de reciclagem, já que a quantidade de material reciclável per capita manteve-se semelhante à dos municípios que não adotaram a o sistema de faturamento por peso (Dahlén e Lagerkvist, 2010a).

2.3.1.3. ALEMANHA

Desde a década de 1990 ocorre coleta seletiva em Berlim. O sistema faz uso de caixas azuis para coleta de aparas de papel, caixas ou sacolas amarelas para objetos de plástico e ou metal equivalentes, por exemplo, brinquedos, panelas e frigideiras, ferramentas, tigelas de plástico. Roupas velhas e os pequenos aparelhos elétricos não podem ser eliminados nesse sistema de coleta (BERLIN, 2013).

O papel de sucata é coletado por várias empresas de gerenciamento de resíduos e levado para reciclagem. Ele também pode ser levado para os estaleiros de reciclagem que estão localizados em toda a cidade. Também ocorrem coletas feitas por várias organizações, principalmente instituições de caridade. Normalmente, pilhas de jornais e revistas velhos são amarrados e posteriormente são então coletados pela organização para reciclagem (BERLIN, 2013).

Em Berlim, até dezembro de 2012, as embalagens plásticas eram colocadas em uma caixa amarela (prédios) ou em um saco amarelo (casas), a serem coletadas por uma empresa encomendada pelos operadores do Sistema Dual de reciclagem. Em janeiro de 2013 foi implantado em Berlim uma nova caixa de reciclagem para embalagens e materiais semelhantes. Calcula-se que o montante anual recolhido para reciclagem aumentará cerca de 7 kg per capita. Isto corresponde a um volume total para Berlim de cerca de 25.000 toneladas por ano (BERLIN, 2013).

Com relação ao vidro, já nas décadas de 1970 e 1980, o vidro era separado de outros resíduos em Berlim de várias maneiras. Com a entrada em vigor do Decreto relativo às embalagens em 1991, o vidro passou a ser coletado separadamente em toda a cidade. Recipientes verdes e marrons foram disponibilizados para edifícios residências. Além disso, em toda a cidade há cerca de 6.000 pontos de entrega de vidro, onde a população pode deixar seus resíduos vítreos gerados. O vidro é coletado por várias empresas para reciclagem. Todos os anos, cerca de 70.000 toneladas de vidro são recolhidas em Berlim, o que corresponde a uma geração de na faixa de 20 kg por pessoa (BERLIN, 2013).

2.3.2. BRASIL E A COLETA SELETIVA

Apesar da mídia explorar frequentemente o tema, a maior parte das iniciativas e ações de coleta seletiva no país são informais, realizadas por organizações de catadores de materiais recicláveis. No país tem-se apenas 16,66% dos 5.561 municípios operando programas de coleta seletiva (figura 5), o que corresponde a 927 experiências implantadas e em funcionamento, conforme demonstra pesquisa sobre o tema, desenvolvida pelo Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE, 2014).



Figura 5: Municípios com coleta seletiva no ano de 2014.
Fonte: CEMPRE, 2014

GRIMBERG e BLAETH (1998) apontam que no Brasil existem duas modalidades básicas de coleta seletiva: a porta-a-porta, onde agentes de limpeza e/ou agentes ambientais percorrem as ruas juntamente com o veículo coletor, recolhendo os materiais recicláveis previamente separados e dispostos na frente dos domicílios e estabelecimentos comerciais; e os pontos de entrega voluntária (PEV's), no qual a população se desloca até locais estrategicamente definidos para dispor o material segregado em casa. Entretanto, os mesmos autores apontam que é difícil de se mensurar a adesão da comunidade à coleta seletiva através dos PEV's, bem como o risco de vandalismo, que vão do depósito de lixo orgânico e/ou animais mortos nos coletores, a danificação e destruição dos mesmos.

Quanto à coleta seletiva porta-a-porta, embora necessitar de maior infraestrutura e apresentar custos mais elevados para coleta e transporte, acaba proporcionando uma maior comodidade à população, que resulta numa maior participação da sociedade nos programas de coleta seletiva, além de possibilitar um melhor controle e fiscalização por parte dos órgãos responsáveis pela execução do serviço, permitindo a tomada de medidas específicas para que se tenha uma maior participação popular (GRIMBERG e BLAETH, 1998).

O Ministério das Cidades, através do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), divulga anualmente o "Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos", que em sua décima terceira edição referente ao ano de 2014, aponta

que de um total de 3.765 municípios pesquisados, 1.322 informaram realizar qualquer tipo de coleta seletiva, seja por PEV ou porta-a-porta. Contudo, não foi feita uma avaliação da abrangência da coleta seletiva nesses municípios, podendo ser em apenas uma localidade, em parte do município, ou em toda a cidade. Destes, 1.178 disseram que realizam a coleta seletiva porta-a-porta, atendendo a um total de 52 milhões de habitantes, valor bem superior ao apresentado pelo CEMPRE (2014), que apresentou a quantidade de 28 milhões de pessoas atendidas com coleta seletiva no país.

Muitos trabalhos, realizados em diversas cidades brasileiras, servem como referência e incentivo para uma tentativa de melhorar ou, ao menos, amenizar os problemas agravados pelo mau uso e deposição do lixo.

Em 1985, na cidade de Niterói/RJ, ocorreu a primeira experiência brasileira de coleta seletiva do lixo urbano; na época se restringia à 100 residências e, expandido, atinge praticamente todo o município, em 2006. Este caso pioneiro é um ótimo exemplo de como a responsabilidade em relação ao meio ambiente pode gerar empregos, como mecanismo de Educação Ambiental, trazendo assim grandes benefícios para a sociedade (FERREIRA et al., 1986 apud EIGENHEER et al., 2015).

Em Curitiba/PR, implantou-se em 1989 o programa LIXO QUE NÃO É LIXO; essa iniciativa, em princípio, foi implantada de modo interdisciplinar nas escolas municipais visando a Educação Ambiental; no mesmo ano, derivado desse primeiro, foi implantado o programa COMPRA DO LIXO e, em 1991 foi criado outro programa, conhecido como CÂMBIO VERDE (UNILIVRE, 2006).

Em São José dos Campos/SP, no ano de 1992, um programa de Educação Ambiental denominado O LUXO DO LIXO foi implantado com o intuito de promover um processo diferenciado de coleta, visando estimular os cidadãos para a separação do lixo domiciliar e preservação ambiental (Prefeitura Municipal de São Jose dos Campos).

Uma lei municipal, a cidade de Campinas implantou a coleta seletiva. O projeto abrangeu: coleta seletiva domiciliar, comunidades organizadas e postos de entrega voluntária. A população tomou conhecimento deste fato através do sistema “boca-a-boca” nas residências ou por palestras de Educação Ambiental em escolas, reuniões de prédios, condomínios, bairros, por meio de visitação ao sistema de coleta, tratamento, destino e procedimento dos resíduos da cidade (UNILIVRE, 2006).

No ano de 1991, em Ribeirão Preto, foi inaugurado o projeto LIXO ÚTIL pelo Departamento de Organização e Saneamento. Entre os anos de 1992 à 1997, o programa cresceu abrangendo 10% do município. O projeto possui dois sistemas básicos de recolhimento de material reciclável: postos de entrega voluntária e, uma vez por semana, coleta porta a porta (Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto, 2003).

O programa “EVITE O LIXO”, implantado pela prefeitura municipal de Assis, de 1994 à 1996 (DAMÁSIO, 1996), mobilizou associações, polícia militar, bombeiros, grupos de escoteiros, populares e teve como objetivo a sensibilização da população voltada para a coleta seletiva do lixo urbano.

Enquanto em outros países a reciclagem é associada à modernidade, no Brasil é baseada na exploração da miséria de parte da população. Atuando ao lado dos serviços municipais, catadores de material reciclável, desviam entre 10 e 20% dos resíduos urbanos (UNICEF, 2000).

Estima-se que no Brasil a atuação de 360 mil catadores nas ruas responsáveis pela coleta de vários tipos de materiais (IPEA, 2013). O benefício que os catadores trazem para a limpeza urbana é grande, mas geralmente é passado despercebido. Eles coletam recicláveis antes do caminhão da prefeitura passar e, portanto, reduzem os gastos com a limpeza pública, geram postos de trabalho e poupam recursos naturais.

Para Schimer et al. (2008), a coleta de lixo urbano no Brasil não tem mostrado resultados satisfatórios, entretanto estudos revelam uma melhora na situação da destinação final dos resíduos por causa dos catadores. O estudo de caso efetuado no município de Irati - PR teve a finalidade de beneficiar a coleta normal com a implantação da coleta seletiva, reduzindo o impacto ambiental e abrindo oportunidades aos trabalhadores da Associação de Catadores Municipal. A proposta abrange duas etapas: Logística e Educação Ambiental. Os ganhos ambientais da reciclagem de materiais decorrem do fato de que é mais econômica a produção a partir da reciclagem do que a partir de matérias primas virgens.

Para os autores, quando se fala de gestão sustentável, deve-se verificar se há a possibilidade de evitar a produção do resíduo, do contrário, segue-se para a execução do princípio dos 3 R's. Tal princípio consiste na *redução* do uso de matérias-primas, diminuindo o desperdício nas fontes geradoras, bem como o desperdício de energia;

reutilização: averiguação dos possíveis usos para tal produto e por fim a *reciclagem* dos materiais.

No decorrer desses últimos anos, este problema tem sido tratado com séria relevância pelas autoridades governamentais locais (CORSON, 1996). Para entender o problema ambiental do lixo, é necessário o aprofundamento sistemático de conhecimentos para o tratamento adequado dos resíduos sólidos.

Os projetos apresentados acima servem como exemplos positivos e incentivadores para a realização do presente trabalho.

2.3.2.1. VEÍCULOS UTILIZADOS NA COLETA SELETIVA NO BRASIL

A coleta seletiva pode ser realizada com o uso de diversos equipamentos, desde veículos de tração animal/humana, passando por caminhões de carroceria aberta e compactadores, estes capazes de diminuir o volume inicial dos resíduos em um terço (Roth et al., 1999). A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT(1993), através da NBR 12980, apresenta 2 desses veículos (figura 6): Caminhões com carroceria sem compactação, que se tratam de carrocerias retangulares metálicas com abertura traseira e/ou lateral e sua descarga ocorre por basculamento; e Caminhão com compactador, que são veículos com carroceria fechada, dotados de elementos mecânicos que possibilitam a compactação do material em seu interior, sendo que sua descarga pode ser feita por ejeção ou basculamento.



Figura 6: Veículos utilizados na coleta de resíduos sólidos no Brasil.
FONTE: ABNT (2013); PMC (2013) apud CONKE (2015).

Recentemente, novas tecnologias vêm sendo desenvolvidas visando reduzir impactos no tráfego e no meio ambiente, diminuir custos e otimizar o processo da coleta seletiva de materiais recicláveis. Em 2007, através do programa de energias renováveis da Usina Hidroelétrica Itaipu Binacional - ITAIPU, foi lançado um veículo elétrico não tripulado para coleta seletiva movido a puxão (figura 07), com capacidade para até 1000 kg e baixa velocidade de operação, alcançando até 8 km.h⁻¹ (LAZZARI, 2010). Contudo, apesar de apresentar autonomia de 30 km com a carga completa, o veículo não foi muito bem aceito por organizações de catadores que pela experiência de uso, alegaram que o veículo vai perdendo potência no final da carga, acabando por completo antes de chegar à base novamente, causando grandes dificuldades para sua locomoção, pois vazio, o mesmo pesa em torno de 400 kg e não existem pontos para reabastecimento com facilidade.



Figura 7: veículo elétrico não tripulado
FONTE: ITAIPU (2016).

Por volta de 2009, a empresa TECSCAN, sediada em Minas Gerais, criou o “Coletortec” (figura 08). Trata-se de um veículo de motor de combustão não tripulado movido a gasolina, com gaiola de carga com capacidade de aproximadamente 3 m³ e até 500 kg. A velocidade desse veículo é de 4 a 6 km.h⁻¹ (velocidade média de uma pessoa comum andando) e autonomia média de 30 km.l⁻¹ (TECSCAN, 2017).



Figura 8: veículo de motor a combustão não tripulado.
FONTE: TECSCAN (2016).

A possibilidade de abastecimento com gasolina acabou sendo um diferencial em relação ao veículo elétrico da ITAIPU, pois é possível carregar um tanque extra de combustível junto ao veículo, ou abastecê-lo no posto mais próximo, podendo retornar para a base sem maiores problemas. Devido a sua baixa capacidade de carga, para o uso do “Coletortec”, faz-se necessário um ponto de apoio (Ecoponto) onde o material coletado pelo veículo, ao longo do roteiro, possa ser descarregado, e assim, já vazio, possa retornar a coleta de onde parou.

3. ESTUDOS DE CASO

3.1.METODOLOGIA APLICADA

O presente trabalho aborda uma pesquisa exploratória de caráter quali-quantitativo, baseada na bibliografia existente referente à coleta seletiva no Brasil e nas informações obtidas por meio da coleta de dados primários e secundários dos meios de transporte utilizados para realização dessa coleta, com foco no caminhão sem compactação (carroceria gaiola ou baú), caminhão compactador e veículo não tripulado com motor de combustão associado a uma estação de transferência.

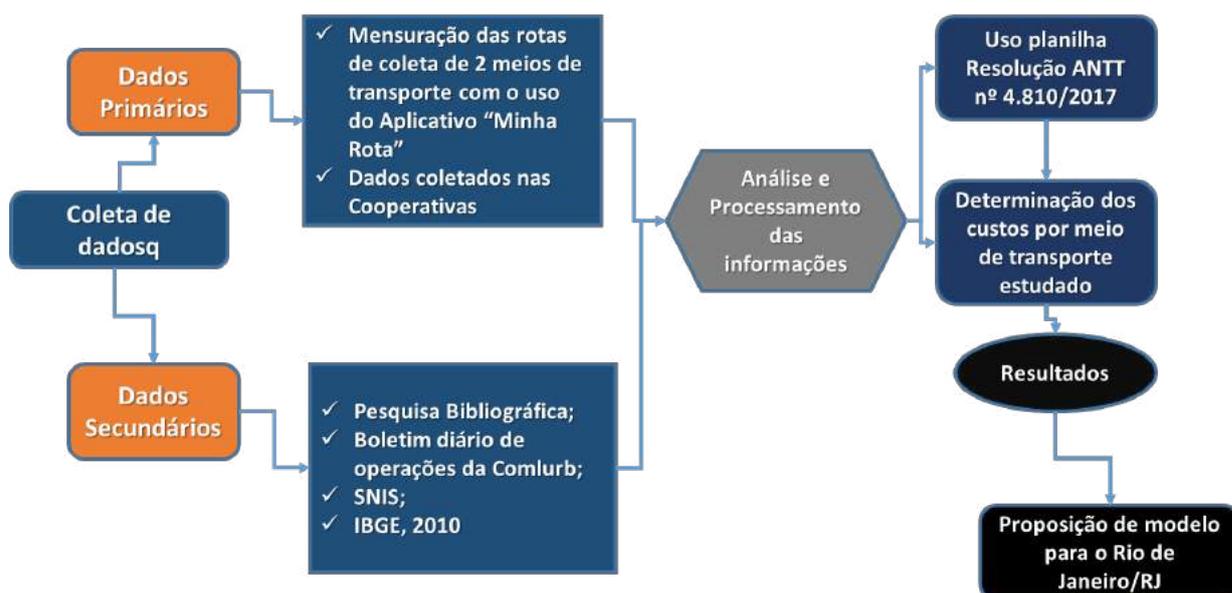


Figura 9: Fluxograma da metodologia aplicada.

A pesquisa foi fundamentada na consulta bibliográfica dos autores referência da temática de coleta seletiva no Brasil e no mundo, junto às recomendações atuais dos órgãos governamentais envolvidos, por meio da identificação das diferentes fases e diretrizes referentes à coleta seletiva e veículos utilizados para realização da coleta seletiva no Brasil, apresentada no capítulo 2.

Em seguida foram realizados 3 estudos de casos de municípios que realizam a coleta seletiva com uso de diferentes meios de transporte, sendo os municípios do Rio de Janeiro/RJ, Jacobina/BA e João Monlevade/MG os mesmos que, foram a base para o presente estudo desenvolvido.

É importante mencionar que devido à dificuldade da obtenção de dados, não foi possível a comparação das diferentes metodologias numa mesma área de influência, o que pode gerar algumas diferenças principalmente nos custos e rotas, entretanto, a intenção do trabalho é mostrar as características dos veículos e a forma da coleta, observando os distintos casos de estudo e áreas escolhidas.

Depois foi realizado um levantamento de dados primários e secundários nos quais foram analisados os custos dos equipamentos e custos operacionais. Posteriormente, foram definidos os parâmetros a serem analisados, sendo definidos como parâmetros os custos por tonelada, custos por quilometro e custos por viagem, levando em consideração a capacidade dos equipamentos e tamanho das rotas, com o uso com o uso da planilha de simulação dos custos de operação do transporte rodoviário de cargas, disponibilizada pela Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT que foi elaborada com base na Resolução ANTT nº 4.810, de 19 de agosto de 2015 (ANTT, 2015), que será apresentada adiante; e ocupação de espaços das vias públicas, com vistas nos impactos no tráfego decorrentes dos diferentes meios.

A abrangência da coleta foi definida com base nas rotas e nas capacidades dos dispositivos dos meios de transportes analisados. Para isso, foram avaliados dados de coleta de 3 organizações de catadores e da Companhia Municipal de Limpeza Urbana – COMLURB do município do Rio de Janeiro/RJ.

Cada uma destas organizações opera com um tipo de veículo estudado, a saber: Cooperativa dos Trabalhadores do Complexo de Bonsucesso Ltda - COOTRABOM, que recebe o material da coleta seletiva da COMLURB, feita com o uso do caminhão com compactador; Associação dos Trabalhadores da Limpeza e de Materiais Recicláveis de João Monlevade – ATLIMARJOM, que realiza a coleta seletiva no município de João Monlevade/MG com o uso do caminhão com carroceria tipo Baú; Cooperativa de Catadores de Materiais Recicláveis Recicla Jacobina, que opera a

coleta seletiva em Jacobina/BA utilizando o veículo não tripulado com motor de combustão.

A obtenção das informações referente as rotas dos veículos foram realizadas de duas formas:

- 1- Por meio do uso do aplicativo “Minha Rota”, disponível de forma gratuita para aparelhos Smartphone, para os dados do veículo não tripulado com motor de combustão da Recicla Jacobina e do caminhão baú da ATLMARJOM. As rotas de cada veículo foram medidas pelo período de uma semana e o material coletado durante o roteiro mensurado foi posteriormente pesado (Figura 10 a);
- 2- Por meio do formulário “Boletim diário de operações”, para conseguir os dados da rota do caminhão compactador da Companhia Municipal de Limpeza Urbana – COMLURB, que destina o material para as cooperativas de catadores do município, entre elas, a COOTRABOM. Neste formulário o motorista informa os horários e quilometragem do veículo nas seguintes situações: ao sair da garagem, no primeiro e demais pontos de coleta (vias e/ou estabelecimentos específicos), no último ponto de coleta, ao chegar na balança rodoviária e ao depositar na COOTRABOM (Figura 10 b).

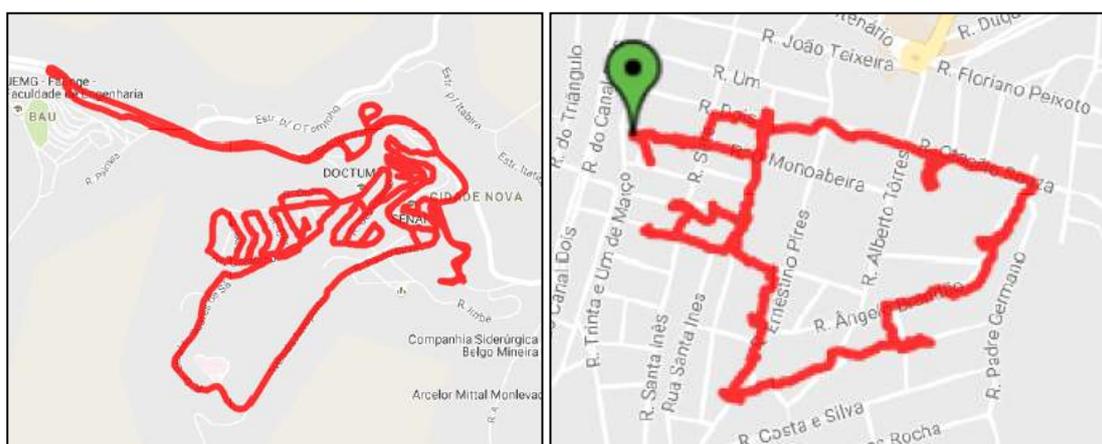


Figura 10(a): Rotas do caminhão da ATLMARJOM (17,1 km) e (b)do veículo não tripulado com motor de combustão da Recicla Jacobina (3,6 km), respectivamente, mensuradas com o aplicativo “minha rota”.

Os dados primários de mensuração das rotas de coleta da ATLIMAJOM ocorreram entre os dias 04/04/2016 e 08/04/2016, enquanto as medições dos roteiros da Recicla Jacobina foram realizadas entre os dias 26/09/2016 a 30/09/2016. Já os dados secundários referentes a coleta realizada pela COMLURB compreendem todo o mês de outubro de 2016.

Com relação a capacidade dos dispositivos de armazenamento, cabe ressaltar que segundo o Ministério do Meio Ambiente (2012) a densidade aparente dos materiais recicláveis é de $0,25 \text{ ton.m}^{-3}$, enquanto que para os resíduos misturados e compactados, é atribuído o valor de $0,6 \text{ ton.m}^{-3}$. Conforme dito anteriormente, devido à baixa densidade aparente dos materiais recicláveis, os dispositivos nunca alcançam suas capacidades máximas com relação ao peso, sendo utilizadas as informações disponibilizadas pelas organizações de catadores citadas referente à quantidade de material reciclado até os dispositivos alcançarem o limite de capacidade, devido à restrição de volume e/ou massa.

As informações referentes à capacidade foram obtidas dos fabricantes, por meio de cotações, acesso ao endereço eletrônico dos mesmos e dos dados coletados das organizações de catadores acompanhadas neste estudo. Assim, foram comparados os valores de capacidade máxima com valores coletados das organizações de catadores estudadas.

Os dados sobre tamanho dos equipamentos e custo dos equipamentos foram também obtidos diretamente com os fabricantes, onde foram levantados os custos de cada equipamento, a saber: caminhão toco, compactador, carroceria tipo baú e veículo não tripulado com motor de combustão. Outro aspecto considerado foi a depreciação dos veículos num período de 1 ano.

Os custos operacionais foram calculados com o uso da planilha de simulação dos custos de operação do transporte rodoviário de cargas, disponibilizada pela Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT que foi elaborada com base na Resolução ANTT nº 4.810, de 19 de agosto de 2015 (ANTT, 2015). A planilha divide os custos operacionais em 2: custos fixos e custos variáveis. Os custos fixos têm como parâmetros os custos do caminhão e dispositivo, a depreciação do veículo e do equipamento,

remuneração mensal do capital aplicado no veículo, custo da mão de obra do motorista (com base no piso salarial da categoria), tributos e seguro do veículo. Os custos variáveis levam em consideração os custos de manutenção, combustível, lubrificantes, lavagem e pneus.

Da mesma maneira, foi analisado em paralelo o custo da força de trabalho dos agentes de coleta, onde a composição da equipe varia de acordo com o meio utilizado, sendo considerada da seguinte forma no presente estudo: caminhão com compactador e caminhão com carroceria tipo baú compostas por 1 motorista e 3 agentes de coleta; veículo não tripulado com motor de combustão, 2 agentes de coleta.

A planilha da ANTT foi preenchida com dados coletados em campo e pesquisa de mercado, calculados com base na quilometragem rodada por mês, obtidos através da mensuração das rotas, levando em consideração, também, o tempo gasto por rota. Cabe lembrar que devido as diferentes capacidades, há diferença na distância percorrida entre os diferentes meios.

Em seguida, com uso dos dados do IBGE (2010), malha viária do Rio de Janeiro/RJ¹ e informações do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PMGIRS, por meio do software ArcGis 10.1, foram feitas análises territoriais e populacionais do município do Rio de Janeiro/RJ, com o objetivo de propor sugestões de sistemas de coleta seletiva.

Levando em consideração que o presente trabalho foca na comparação da eficiência de 3 diferentes meios utilizados na coleta seletiva porta-a-porta adotados no Brasil, foram escolhidos os municípios do Rio de Janeiro/RJ, João Monlevade/MG e Jacobina/BA para o estudo (Figura 11), tendo em vista que apresentam sistemas diferentes para realização da coleta.

Cabe ressaltar que a escolha de municípios com características distintas ocorreu pelo fato da coleta seletiva no país ainda ser algo recente, tendo poucas informações acerca do tema na literatura, resultando numa dificuldade na obtenção de dados sobre o assunto. A seguir será apresentado o estudo de caso de cada um.

¹ Material disponibilizado pela ONG Instituto de Políticas de Transporte & Desenvolvimento– ITDP Brasil

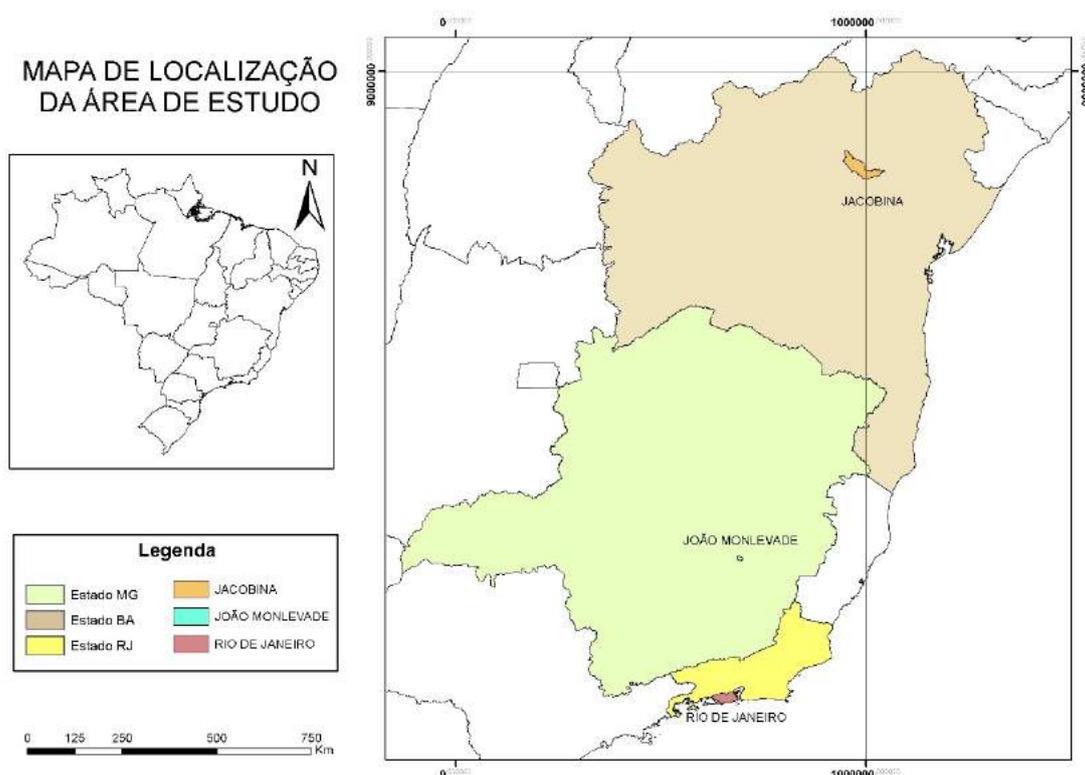


Figura 11: Localização dos municípios do Rio de Janeiro/RJ, João Monlevade/MG e Jacobina/BA.

3.2. RIO DE JANEIRO

3.2.1. CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO

O município do Rio de Janeiro, capital do estado do Rio de Janeiro, está localizado na região sudeste do país (Figura 12), tem como município limítrofes Duque de Caxias, Itaguaí, Seropédica, Mesquita, Nilópolis, Niterói, Nova Iguaçu e São João de Meriti.

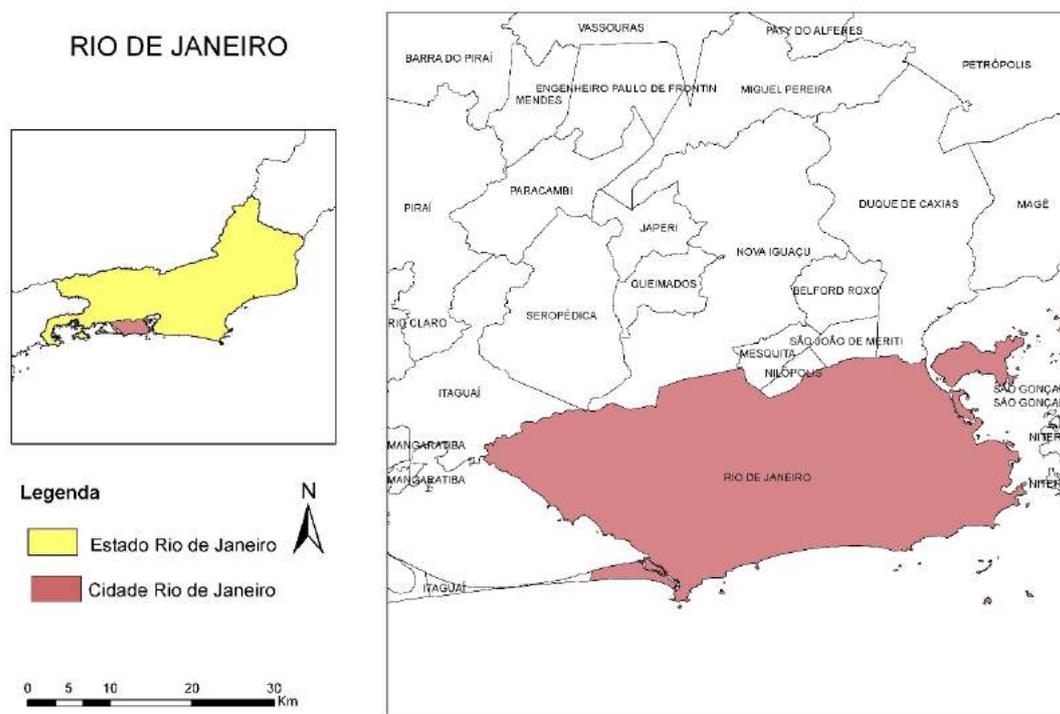


Figura 12: Localização do município do Rio de Janeiro/RJ.

Com uma área de 1.200,179 km² e aproximadamente 6.453.682 habitantes a cidade tem uma densidade demográfica de 5.265,82 hab./km², um IDH (índice de desenvolvimento humano) de 0,799 (IBGE, 2010, 2015, 2016), e é subdividida em 5 Áreas de Planejamento - AP (Figura 13), 34 regiões administrativas e 160 bairros (RIO DE JANEIRO, 2016).

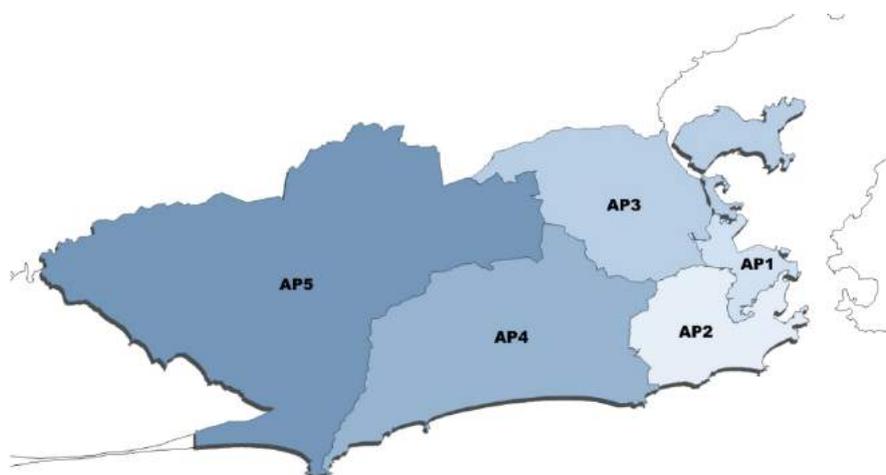


Figura 13: Áreas de Planejamento do Município do Rio de Janeiro.
 FONTE: Secretaria Municipal de Urbanismo, Rio de Janeiro/RJ.

3.2.2. GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO RIO DE JANEIRO

Com relação aos resíduos sólidos, a regulamentação do processo de gestão de resíduos é conferida na Lei Municipal n.º 3.273 de 6 de setembro de 2001, que trata da Gestão do Sistema de Limpeza Urbana no Município do Rio de Janeiro. O artigo 30 da referida lei confere ao órgão ou entidade pública a autonomia para “estabelecer e determinar as normas e procedimentos que se façam necessários à garantia das boas condições operacionais e qualidade dos serviços relativos à remoção dos resíduos sólidos urbanos” (RIO DE JANEIRO, 2001). No Rio de Janeiro, a gestão dos resíduos sólidos está a cargo da Companhia Municipal de Limpeza Urbana – Comlurb.

O Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PMGIRS da cidade do Rio de Janeiro, elaborado seguindo as orientações das leis 11.450/07 (que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico) e 12.305/10 (Política Nacional dos Resíduos Sólidos), apresenta o “diagnóstico da situação atual dos resíduos sólidos na Cidade do Rio de Janeiro no cenário do ano de 2014”.

Segundo os dados do PMGIRS-RJ (2014), a produção per capita média de RSU é de 1,43 kg, perfazendo cerca de 9.277 toneladas/dia de resíduos sólidos coletadas, sendo em torno de 8.370 toneladas foram de resíduos coletados de competência municipal. Deste montante de 8.370 toneladas, 4.900 toneladas correspondem a lixo domiciliar, representando 53,11% do total. As 857 toneladas restantes são compostas por resíduos de grandes geradores e de construção civil.

Dessa maneira, ao considerarmos apenas produção de origem domiciliar, essa geração cai para 0,76 kg/hab/dia. A tabela 01 apresenta a geração per capita de RSU por área de planejamento do município, sendo a AP 1, que corresponde ao centro do município, a área com maior geração de resíduos per capita com 1,22 kg/hab/dia.

Tabela 1: Produção per capita de Lixo Domiciliar por Área de Planejamento

Dados		AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 5	TOTAL
População	Hab	307261	1006780	2399437	990545	1749659	6453682
	(%)	4,8	15,6	37,2	15,3	27,1	100,0
Resíduos Coletados	Ton/dia RSU	707	1338	3379	1388	2415	9227
	Ton/dia RSD	375	709	1791	736	1280	4890
	(%)	7,7	14,5	36,6	15,0	26,2	100,0
Per Capita RSD (kg/hab/dia)		1,22	0,70	0,75	0,74	0,73	0,76

FONTE: Adaptado de Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PMGIRS da cidade do Rio de Janeiro.

A Figura 14 apresenta a composição dos resíduos referentes ao lixo domiciliar, relativos ao ano de 2014. Do total das 4.900 toneladas/dia de resíduos domiciliar, 41,7% é composta por materiais potencialmente recicláveis. Contudo, 25% são efetivamente recicláveis. Destes, 36,9% corresponde a Papel, 4,0% Metal, 8,4% Vidro e 50,7% de Plástico.

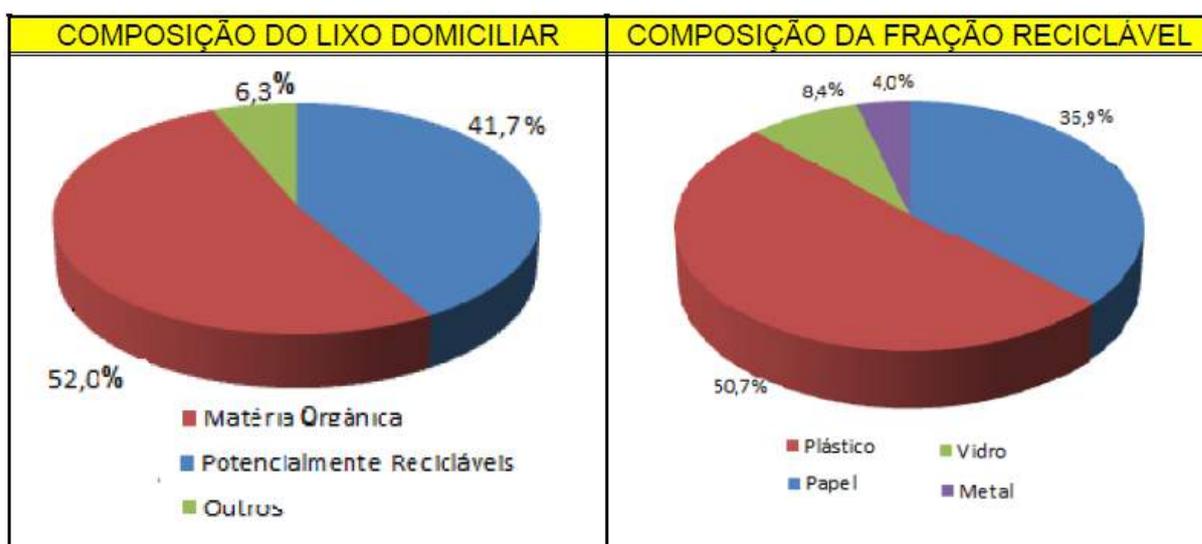


Figura 14: composição do lixo domiciliar e de sua fração reciclável.

FONTE: Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PMGIRS da cidade do Rio de Janeiro.

Visando atender a PNRS, com a desativação do lixão do Jardim Gramacho, em Duque de Caxias/RJ, os resíduos sólidos gerados no município do Rio de Janeiro passaram a ser destinados para a Central de Tratamento de Resíduos de Seropédica/RJ,

que é gerido pela empresa CICLUS, e também atende aos municípios de Itaguaí, Seropédica e Mangaratiba.

Com objetivo de reduzir custos de investimento, custos operacionais, reduzir os impactos no tráfego e de emissão de gases que contribuem para o efeito estufa, tendo em vista que Seropédica fica a aproximadamente 80 quilômetros do Rio de Janeiro, o plano prevê a implantação de 7 Estações de Transferência de Resíduos – ETR, sendo que 5 já estão implementadas, as ETR's do Caju, Jacarepaguá, Marechal Hermes, Santa Cruz e Bangu, ficando pendente as ETR's da Penha e Taquara.

A Figura 15 esquematiza o fluxo dos resíduos coletados na cidade do Rio de Janeiro, passando pelas ETR's e sendo encaminhado para a Central de Tratamento de Resíduos - CTR de Seropédica/RJ.



Figura 15: Fluxo dos resíduos coletados no município do Rio de Janeiro.
FONTE: Secretaria Municipal de Meio Ambiente (2017), Rio de Janeiro/RJ.

3.2.3. COLETA SELETIVA NO RIO DE JANEIRO

Iniciada em 1993, logo após a Rio 92, a coleta seletiva do Rio de Janeiro foi impulsionada a partir de 2010 por meio de um contrato firmado entre a prefeitura e o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES no valor de R\$ 10.000.000,00, para implantação do Programa de “Ampliação da Coleta Seletiva na Cidade do Rio de Janeiro” que teve como objetivo a construção de Centrais de Triagem e ampliação da frota de veículos para a coleta seletiva.

Embora fosse a previsão construir 6 Centrais de Triagem, com capacidade total de recebimento e triagem de 150 toneladas/dia e a geração de 1500 postos de trabalho para catadores e catadoras do município, apenas 2 centrais foram construídas, a de Irajá e Bangu. Por conta do não cumprimento das metas e prazos, o contrato foi encerrado e o recurso devolvido.

A ampliação da frota veio em 2012, por meio do edital de Pregão Presencial N° 083/2012, para contratação de Prestação de Serviços de Locação de Veículos e Equipamentos para Controle Urbano e Coleta Seletiva. Por meio do referido edital foram cotados e contratados 13 caminhões com as seguintes especificações: Veículo para coleta de recicláveis, tipo compactador 15m³, chassi 16t, motor eletrônico e transmissão automática, caixa compactadoras de laterais lisas e carregamento traseiro, com basculamento automático e simultâneo de 2 contêineres plásticos 2 rodas/240 litros (figura 16); e 3 Veículos para coleta de recicláveis, tipo carroceria fixa 20m³, dotado de guindaste hidráulico veicular de 3.500 kg x m de momento, chassi 14,5t.



Figura 16: Caminhão utilizado na coleta seletiva do Rio de Janeiro.

Atualmente a coleta é realizada, ainda que parcialmente, em 113 dos 160 bairros do município, coletando na faixa de 12.560 toneladas por ano, entre 2011 e 2015. A coleta é realizada com uso de caminhões compactadores que encaminham o material coletado para as 2 centrais de triagem e 22 cooperativas de catadores localizadas no município (Figura 17). A grande maioria das cooperativas estão localizadas na zona oeste da cidade, com 13 grupos, seguido da zona norte com 7 grupos e centro, com 4 cooperativas (COMLURB, 2017).

Os dias e horários de coleta por localidade encontra-se disponível no site da secretaria de meio ambiente do município. Cabe a população não misturar a fração orgânica e rejeito com os materiais recicláveis, que devem ser armazenados em sacos transparentes ou translúcidos nas cores azul e verde, para que o agente de coleta possa verificar se não a materiais indesejados junto com o material reciclável (resíduos orgânicos ou de higiene pessoal) e colocar na frente de seu estabelecimento no dia e horário correto.



Figura 17: Localização das centrais de triagem (verde) cooperativas e associações (vermelho) que recebem o material reciclável da coleta da COMLURB.
 FONTE: COMLURB (2017).

3.2.4. COOTRABOM

A Cooperativa dos Trabalhadores do Complexo de Bonsucesso Ltda - COOTRABOM - foi criada em 2002, após a união de trabalhadores que coletavam materiais recicláveis no bairro de Bonsucesso e no complexo da Maré, na cidade do Rio de Janeiro.

Atualmente localizada no bairro de Cascadura, a cooperativa conta com 14 cooperados e cooperadas, que atuam na área de coleta, triagem e comercialização de materiais recicláveis, entre outros serviços, sendo uma das organizações que recebem o material proveniente da coleta seletiva realizada pela COMLURB.

3.3. JACOBINA

3.3.1. CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO

Jacobina, da linguagem indígena “campo Vasto” onde, reza a lenda que a cidade foi palco do amor de dois índios “Jacob” e “Bina”. É um município brasileiro, do estado da Bahia, localizado a 330 quilômetros da capital do estado, tendo como rodovias de acesso: BA -131, BA - 368, BA - 373 e BR - 324.

A sede do município encontra-se a 1.443 metros de altitude, está situada na zona fisiografia do nordeste baiano, na microrregião homogênea Piemonte da Chapada Diamantina. Limita-se ao norte com Mirangada, saúde e Caem e ao sul com Várzea Nova, Várzea do Poço e Miguel Calmon, ao leste Serrolândia, Quixabeira e Capim Grosso, ao oeste Ourolândia (IBGE, 2016).

Possui relevo muito acidentado, rodeada por serras, morros, lagos, rios, fontes e cachoeiras tem com grande atrativo a visita de turistas que além da prática de esportes radicais, buscam a contemplação da natureza. É caracterizada pela vegetação caatinga, vegetação típica da região (IBGE, 2016).

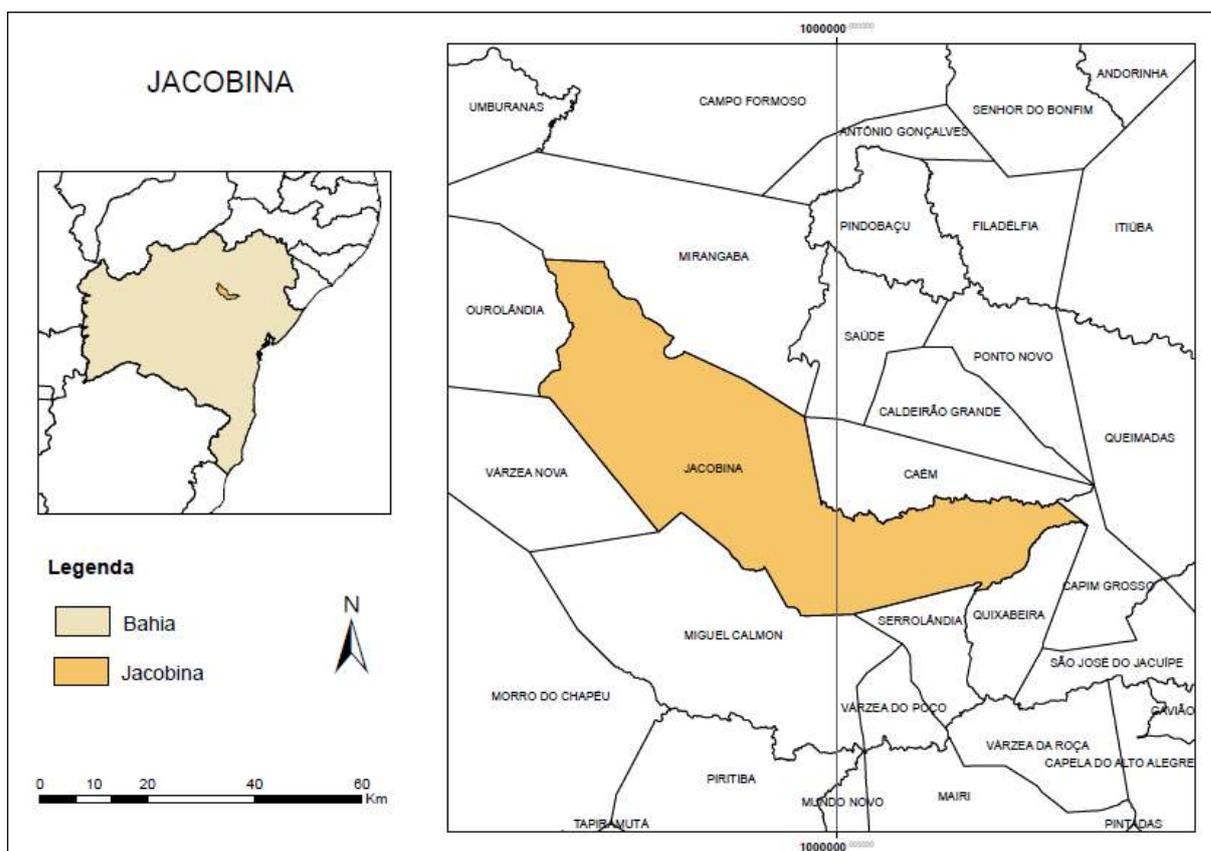


Figura 18: Localização do município de Jacobina/BA.

Com uma área de aproximadamente 2.319.825 km² e população estimada de 83.435 habitantes, o município apresenta uma densidade demográfica de 35,97 habitantes/km² e um IDH de 0,649 (IBGE, 2016).

O município é composto de quatro distritos: Caatinga do Moura, Itaitu, Itapeipu, Junco e 22 povoados: Baixa do Poço, Barroçã de Cima, Cachoeira Grande, Cafelândia, Canavieira de Fora, Coxo de Dentro, Genipapo de Cafelândia, Genipapo de olhos D'água dos Góis, Guariba, Itapicurú, Lages do Batata, Malhadinha, Palmeirinha, Paraíso, Pau ferro, Pé de Serra, Pedra Branca, Pontilhão, Santa Cruz dos Coqueiros e Saracura.

3.3.2. GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS EM JACOBINA

Aprovado em 2016, o PMGIRS de Jacobina apresenta o diagnóstico da gestão dos resíduos sólidos de Jacobina. O município apresenta 2 sistemas de coleta: a coleta convencional, executado pela empresa MM Consultoria Construções e Serviços; e a coleta seletiva, realizada pela cooperativa de catadores Recicla Jacobina.

A coleta de lixo convencional, foi celebrada, que é feita pela MM Consultoria Construções e Serviços, por meio de contrato nº 408/2013, que tem como objetivo a execução dos serviços relativos à limpeza urbana de vias e logradouros públicos do município de Jacobina. O valor mensal do contrato é de R\$ 834.720,00 (JACOBINA, 2016).

A taxa de cobertura da coleta de resíduos sólidos domiciliares - RSD em relação a população total do Município é de 84,7%. Já a taxa de cobertura de coleta direta (porta a porta) relativo à população urbana é de 32,5% (SNIS, 2015).

Um estudo de composição gravimétrica (PANGEA, 2012) realizado em 2012 pela ONG Pangea – Centro de Estudos Socioambientais, oriundo de um convênio entre a ONG e a Secretaria Estadual de Trabalho, Renda e Esporte da Bahia – SETRE/BA, apontou que em Jacobina são gerados em torno de 54,9 toneladas de resíduos por mês e cerca de 33% dos resíduos é composto por materiais recicláveis (Figura 19).

Todo resíduo coletado pela empresa MM é encaminhado para o Aterro do Município de Jacobina situado na BA 131 – km 5, que é gerido pela Empresa Pernambucana de Engenharia e Construções Ltda. – EMPESA, por meio do contrato nº 778/2013 celebrado com a prefeitura, com valor mensal de R\$ 20.994,85. Embora o PMGIRS apresentar que o aterro do município é um aterro sanitário, as informações presentes na pesquisa sobre saneamento básico no país de 2015 realizado pelo Ministério das Cidades, por meio do Sistema Nacional De Informações Sobre Saneamento – SNIS, refere-se ao aterro como aterro controlado (SNIS, 2015), não seguindo especificamente todas as medidas legais para mitigação da disposição final dos resíduos sólidos urbanos.

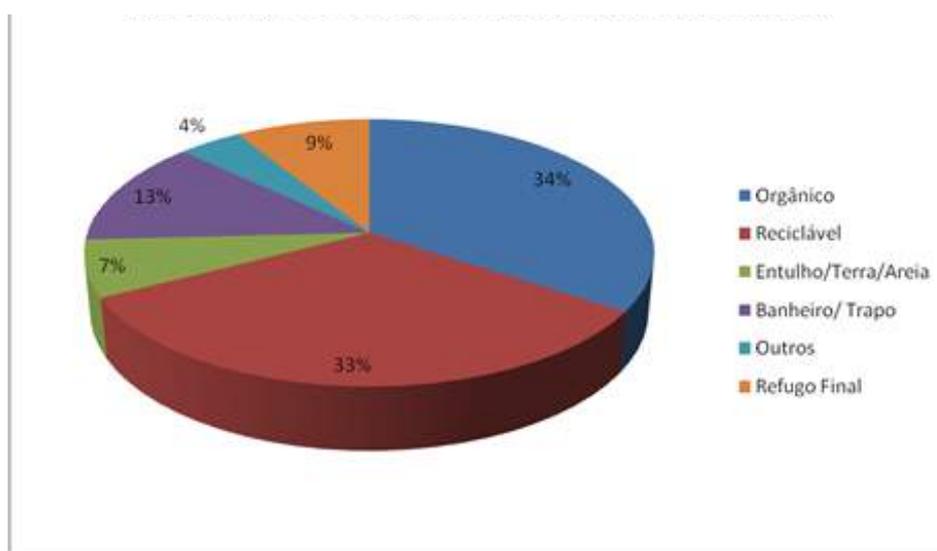


Figura 19: Composição gravimétrica dos resíduos de Jacobina/BA.
 FONTE: PANGEA, 2012.

3.3.3. COLETA SELETIVA EM JACOBINA

Segundo o PMGIRS da cidade de Jacobina/BA, existe sistema de coleta seletiva implantado no município. O serviço é realizado pela Cooperativa de Catadores Recicla Jacobina, por meio de Contrato de Prestação de Serviços nº 314/2014, com valor mensal de R\$ 20.994,85. São atribuições da cooperativa a execução de serviços de coleta seletiva domiciliar de materiais recicláveis e programas de educação ambiental.

A cooperativa de Catadores Recicla Jacobina é um Empreendimento Econômico Solidário formado por catadores e catadoras de materiais recicláveis que atuavam no antigo lixão de Jacobina. A cooperativa foi criada a partir do “Projeto de inclusão social e geração de trabalho e renda através da formação e incubação da cooperativa de catadores de Jacobina/BA²”, realizado por meio do convênio nº 29/2011, firmado entre a ONG Pangea e a SETRE/BA, e em parceria com a Superintendência de Desenvolvimento Industrial e Comercial do Governo do Estado da Bahia – SUDIC/BA, por meio do programa “Indústria Cidadã”.

² O autor participou deste projeto como coordenador geral.

O programa Indústria Cidadã tem como objetivo fomentar a economia solidária através da disponibilização de espaços para atuação de empreendimentos econômicos solidários. O município de Jacobina foi contemplado, em 2009, com um galpão para atuação de organizações de catadores de materiais recicláveis. Contudo, assim como a maioria dos galpões construídos pelo estado, até meados de 2012 o galpão estava desativado.

Dessa maneira, a partir do convênio entre ONG e estado, ações de cadastramento dos catadores de 40 catadores, capacitação, dotação de equipamentos, cessão do galpão e assessoria técnica, a cooperativa foi constituída.

A primeira parceria com o município surgiu no final de 2012, onde foram discutidas ações para implantação da coleta seletiva no município. A coleta teve início em 2013 no bairro Inocoop, com uso de caminhão alugado com recursos do convênio entre ONG e estado, cabendo ao município disponibilizar combustível e manutenção do caminhão.

Com a aquisição de novos equipamentos (Figura 20) para a realização da coleta, a saber: 5 veículos de motor a combustão não tripulados e 5 ecopontos (pontos de entrega voluntária e de transbordo dos veículos não tripulados), foi feito um novo planejamento do sistema de coleta, visando atender toda a sede município.



Figura 20: Ecoponto e catadores com veículo de coleta mecanizado em Jacobina/Ba.

FONTE: Próprio autor.

O sistema de coleta proposto se baseou no método de transbordo, ou estações de transferência (Figura 21). Comumente utilizada na coleta dos RSU's, transbordo, na realidade representa áreas para armazenamento temporário dos resíduos usadas quando as distâncias entre o centro gerador de RSU e os aterros sanitários são superiores a 25 quilômetros, tendo a função de permitir que o veículo de coleta de menor porte, que possui maior facilidade de locomoção e de realizar manobras causando menos impacto no tráfego local, descarregue após completar sua capacidade, retornando mais rápido para seu roteiro de coleta, aumentando a produtividade do veículo de coleta e guarnição, reduzindo custos de transporte e consumo de combustível. No transbordo, um veículo de maior porte fica incumbido de levar todo material lá depositado para seu destino final, seja aterro sanitário, reciclagem e/ou aproveitamento energético.

Além disso, há maior variedade com relação a definição de qual equipamento a ser utilizado para execução da coleta possibilitando o uso de veículos de menor capacidade, mas com mais facilidade para realização de manobras e acesso a vias estreitas e/ou com limitações de acesso. Cabe ressaltar que o custo do veículo e de manutenção do mesmo são os fatores que mais oneram a coleta de resíduos.

Posteriormente, o material disposto no transbordo é colocado em veículos e equipamentos de maior capacidade (pelo menos três vezes maior) e menor custo unitário de transporte (FUNASA, 2004).

A escolha desse modelo se deu justamente por conta das condições de relevo e dimensões das vias da sede do município, com muitas ruas estreitas e sem saída, sendo necessárias manobras especiais em muitos trechos das rotas de coleta, além de que veículos de grande porte acabam bloqueando as vias e atrapalhando o trânsito local.

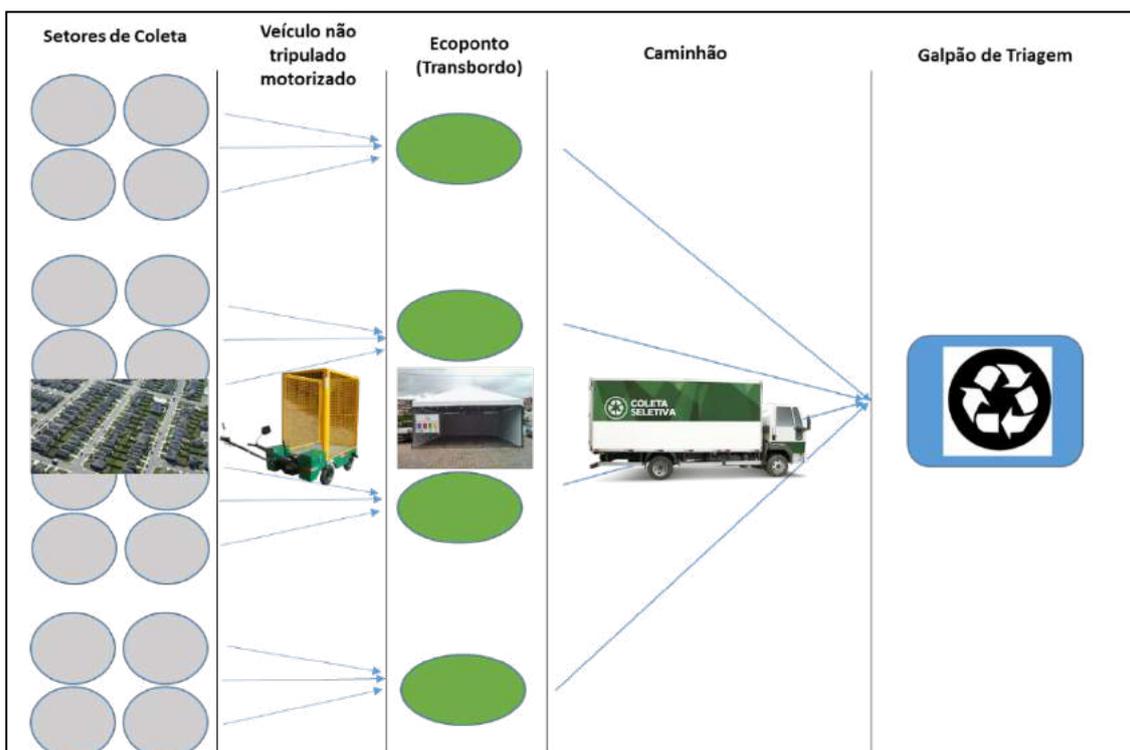


Figura 21: Fluxograma do corredor logístico da coleta com ecoponto (transbordo).
 FONTE: Próprio autor.

O planejamento envolveu a setorização do município em 5 áreas (Figura 22), onde em cada área seriam implantadas 5 estruturas compostas por; 1 ecoponto (que se trata de um toldo de 36m² telado que, como dito anteriormente, serve de pontos de entrega voluntária e de transbordo dos veículos não tripulados), 1 veículo motorizado não tripulado e uma equipe composta de 3 catadores, onde 2 possuem a atribuição de realizar a coleta nas casas ao em torno conforme dia e rota programada e 1 fica no ecoponto, recebendo o material levado pela população, fazendo um pré-triagem do material recebido e organizando o espaço. As 5 áreas divididas correspondem aos bairros:

- Área A: Líder, Centro leste e Bananeira;
- Área B: Avenida Lomanto Júnior, Orlando Oliveira, Centro oeste, Calçadão e Manoel Novais;
- Área C: Missão, Caeira, Texaco, Caixa D'água e Vila Feliz;
- Área D: DERBA, Cesta do povo, Estádio Municipal, Feira, Peru, Nazaré e Avenida Paulo Souto;

- Área E: Estação, Jacobina I, Peru, Índios, Mundo Novo, Jacobina III, Jacobina IV e Novo Amanhecer.

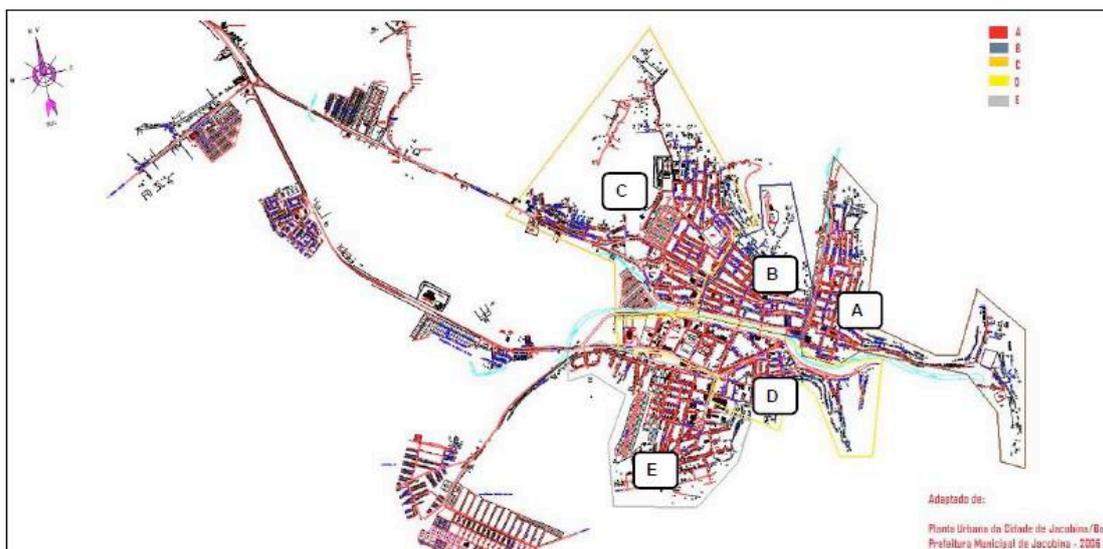


Figura 22: Setores de coleta seletiva de Jacobina.
Fonte: Adaptado de PMJ (2006).

Ao final do projeto e com o amadurecimento e profissionalização do grupo, a prefeitura contratou, em 2014, a cooperativa para realização dos serviços de coleta seletiva e destinação ambientalmente adequadas dos materiais coletados pela cooperativa. A remuneração pela coleta propiciou uma melhor qualidade na prestação dos serviços de coleta seletiva, sendo que no ano de 2013 a média mensal coletada foi de 40,16 toneladas, passando para 45,46 toneladas/mês em 2014 e alcançando os valores de 53,23 toneladas mensais em 2015, conforme apresentado na tabela 02.

Tabela 2: Produção média mensal da Recicla Jacobina entre os anos de 2013 a 2015.

Ano	Média ton/Mês
2013	40,16
2014	45,46
2015	53,23

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2016).

3.4. JOÃO MONLEVADE

3.4.1. CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO

O município de João Monlevade encontra-se na microrregião de Itabira e mesorregião metropolitana de Belo Horizonte (Figura 23), tendo como municípios vizinhos Itabira, Bela Vista de Minas, São Gonçalo do Rio Abaixo e Rio Piracicaba.

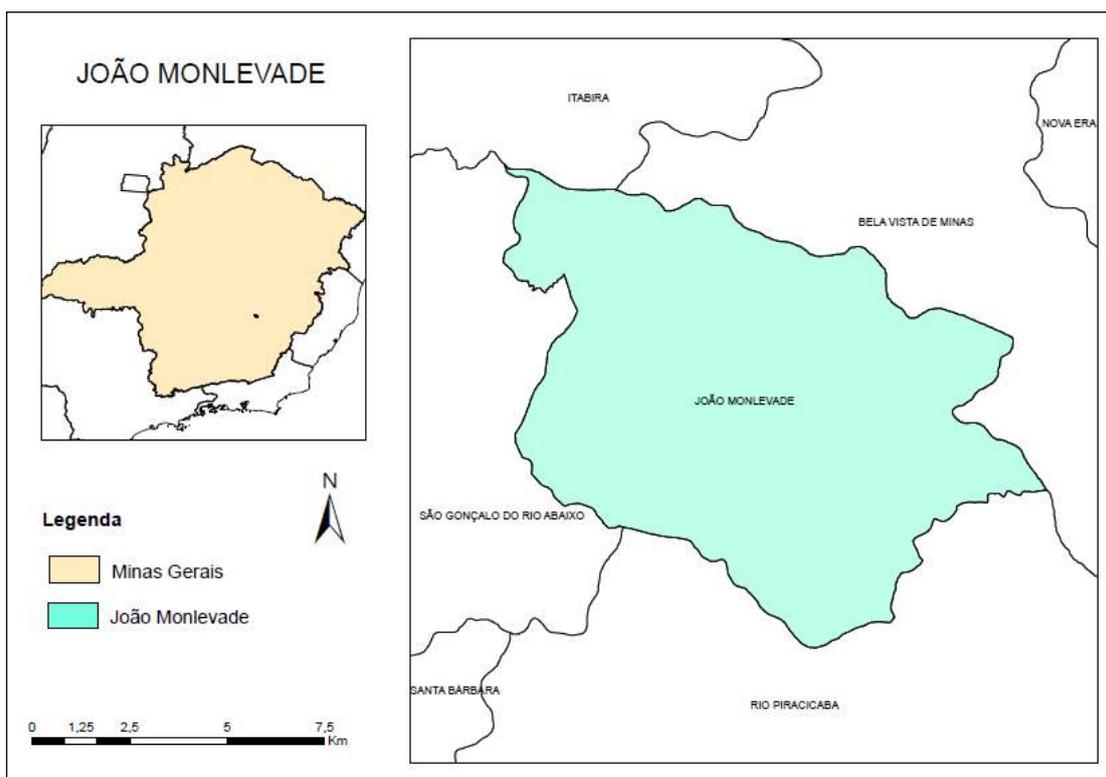


Figura 23: Localização do município do João Monlevade/MG.

Situado a aproximadamente 110 quilômetros da capital mineira, seu principal acesso é pela BR 381. A cidade tem uma área total de 99,158 km², uma população de 79.100 habitantes e uma densidade demográfica de 742,35 habitantes/km² (IBGE, 2016). Segundo o IBGE (2010), o IDH do município é de 0,758, considerado alto.

A cidade possui o relevo predominantemente montanhoso, com poucas áreas planas. Não existem distritos no município, apenas a sede, que é composta por 64 bairros.

3.4.2. GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS EM JOÃO MONLEVADE

O município não dispõe de um plano de gestão integrada de resíduos sólidos, contudo, apresenta o Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico – PMISB (2011), elaborado pelo Departamento Municipal de Águas e Esgotos – DAE, tendo um capítulo que trata da gestão dos resíduos sólidos no município.

João Monlevade possui dois sistemas de coleta de resíduos domiciliares: a coleta convencional, que desde 2014 é realizada pela empresa LIARTH, selecionada por meio de edital; e a coleta seletiva, executada desde 2015 por meio de convenio entre a prefeitura e a Associação dos Trabalhadores da Limpeza e Reciclagem de Materiais Recicláveis de João Monlevade – ATLIMARJOM, seguindo a lei 11.445/2007, a Política Nacional do Saneamento Básico.

Segundo os dados do SNIS de 2015 (SNIS, 2016), há cobrança pelos serviços de coleta e destinação final dos resíduos sólidos no município, sendo esta cobrança feita por meio de taxa específica no mesmo boleto do IPTU. As informações do SNIS (2016) também apontam que 100% da cidade é atendida por coleta de lixo, sendo que 61% é feito porta-a-porta, na qual 25% da área da cidade e coleta é feita diariamente e nos outros 75% a coleta é feita de 2 a 3 vezes por semana. Do total coletado, apenas 4,5% foram provenientes da coleta seletiva, perfazendo um total de 679,7 toneladas, sendo que o serviço atende a 19.025 habitantes. A Figura 24 apresenta a proporção por tipo de material reciclável coletado por tipo ao longo do ano de 2015.

Pode-se observar que o material que teve maior recuperação foram os Papeis, correspondendo a 53% do total, seguido pelo Vidro com 26%, Plásticos com 13% e Metais com 8%.

Os outros 95,5% restantes, que correspondem a 14.365,2 toneladas, são oriundos da coleta convencional. Com relação aos custos, o preço da tonelada da coleta convencional foi de R\$ 121,34, enquanto o custo da tonelada na coleta seletiva foi de R\$ 142,60 (SNIS. 2016).

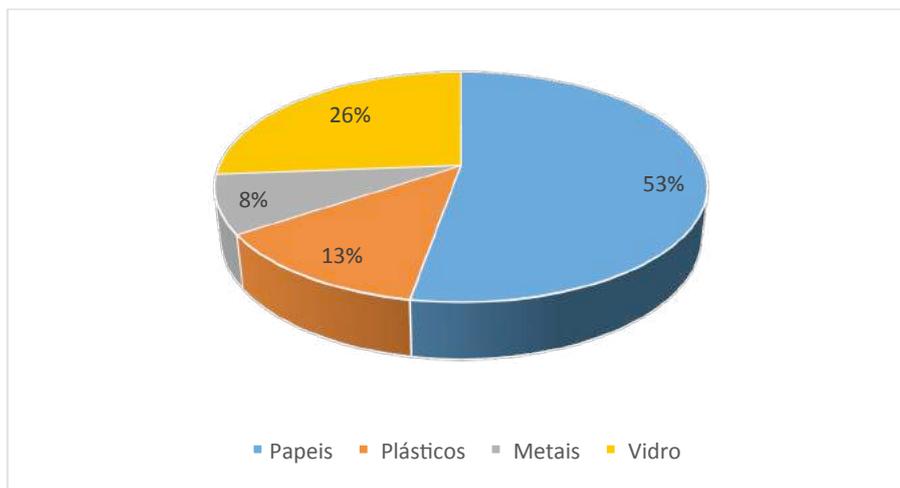


Figura 24: Composição dos materiais recicláveis coletados em João Monlevade/MG ao longo de 2015.

FONTE: Adaptado de SNIS, 2015.

Os resíduos sólidos oriundos da coleta convencional são destinados para o aterro sanitário do município, que fica situado em Sítio Largo, divisa entre João Monlevade e Rio Piracicaba. O Aterro Sanitário é administrado pelo Consórcio Público de Gestão de Resíduos Sólidos, que é composto pelos municípios de João Monlevade, Alvinópolis, Bela Vista de Minas, Nova Era e Rio Piracicaba. O custo para disposição final do lixo no aterro é de R\$ 78,35 a tonelada (SNIS, 2016).

3.4.3. COLETA SELETIVA EM JOÃO MONLEVADE

Conforme apresentado no PMISB (2011) do município, a coleta seletiva é realizada pela Associação dos Trabalhadores da Limpeza e Reciclagem de Materiais Recicláveis de João Monlevade – ATLIMARJOM. Situada na Av. Getúlio Vargas, 2195 - Bau, João Monlevade – MG, A associação foi criada em 2001 e atualmente possui 17 associados. Embora seja realizada a coleta seletiva de forma não remunerada desde 2002, a associação firmou parceria para realização da coleta seletiva com a prefeitura em 2015, por meio de convênio. Segundo a diretoria da associação, o convênio é no valor de R\$ 12.000,00 que são empenhados, basicamente, para pagar o aluguel do caminhão (Figura 25) utilizado para realizar a coleta.



Figura 25: Caminhão utilizado na coleta seletiva em João Monlevade.
 FONTE: ATILMARJOM (2015).

3.5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir serão apresentados os resultados das informações coletadas de cada um dos três meios apresentados. A Tabela 03 apresenta uma comparação das dimensões e capacidades levantadas para cada meio de transporte.

Com relação a capacidade de cada dispositivo de armazenamento, as informações obtidas pelos fabricantes do compactador, baú e veículo motorizado não tripulado foram de 9.000 kg, 4.860 kg e 500 kg, respectivamente. Contudo, os valores obtidos das organizações de catadores do Rio de Janeiro e da Comlurb apresentaram uma média de 3.140 kg por viagem do compactador, 700 kg por viagem do caminhão baú e 200 kg por viagem do veículo motorizado não tripulado.

Quanto as dimensões dos veículos, o caminhão compactador possui uma altura de 3,4 m, comprimento de 7,9 m e largura de 2,5 m, ocupando uma área de 8,5 m². Já o caminhão sem compactação tem uma altura de 3,1 m, comprimento de 7 m e largura de 2,1 m, e uma área de 7,14 m². Por fim, o veículo motorizado não tripulado apresenta uma altura de 2 m, comprimento de 1,5 m e largura de 1,2 m, ocupando uma área de 2,4 m², conforme apresentado na tabela 3.

Tabela 3: Análise comparativa das dimensões e capacidades levantados para cada meio de transporte estudado.

		Veículo		
		Caminhão compactador	Caminhão sem compactação	Veículo motorizado não tripulado
Capacidade	Peso nominal (kg)	9.000	4.860	500
	Peso aparente (kg)	3.140	700	200
	Volume (m ³)	15	26	3
Dimensões	Comprimento (m)	7,9	7	1,5
	Altura (m)	3,4	3,4	2
	Largura (m)	2,5	2,1	1,2

Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2016).

Com relação ao tempo e quilometragem rodada por viagem, a tabela 04 o caminhão compactador leva na faixa de 8 horas por viagem, resultando em apenas uma viagem por dia. Já as viagens do caminhão baú e o veículo motorizado não tripulado duram na faixa de 2 horas, possibilitando que sejam feitas de 2 a 3 viagens por dia.

Tabela 4: tempo médio e quilometragem média por rota de cada meio de transporte estudado.

	Veículo		
	Caminhão compactador	Caminhão sem compactação	Veículo motorizado não tripulado
Tempo médio por rota	6h37m	1h51m	2h27m
Km médio rodado por rota	76,0	19,5	4,1

Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2016).

Quanto a quilometragem percorrida por dia por cada equipamento, o caminhão com compactador percorre na faixa de 76 km.viagem⁻¹; o caminhão com baú viaja em torno de 19,5 km.viagem⁻¹; e o veículo motorizado não tripulado circula por volta de 4,1 km.viagem⁻¹.

A Tabela 05 apresenta uma comparação dos custos dos fixos e variáveis para cada meio de transporte utilizado. Os custos fixos utilizados como parâmetros são: veículo, dispositivo de armazenamento, depreciação, motorista, tributos e seguros. Pode-se evidenciar que o veículo motorizado não tripulado não apresenta custos do dispositivo de armazenamento e do motorista, pois o mesmo já vem com o dispositivo de armazenamento instalado e não é necessário o profissional habilitado para conduzir o veículo. Conforme apresentado na figura 8, diferente dos caminhões, onde o dispositivo de armazenamento não é um opcional de fábrica e precisa ser adquirido por separado de outro fabricante. Já os custos variáveis considerados foram: manutenção por quilometro, combustível por quilometro, lubrificante por quilometro, lavagem por quilometro e pneu por quilometro.

Quanto ao consumo de combustível por mês, os dados coletados das 3 organizações de catadores apresentaram os seguintes quantitativos: o caminhão com compactador percorre na faixa de 76 km.viagem⁻¹; o caminhão com baú viaja em torno de 19,5 km.viagem⁻¹; e o veículo motorizado não tripulado circula por volta de 4,1 km.viagem⁻¹ até completar sua carga. Considerando uma jornada mensal de 24 dias de trabalho, que caminhão compactador faz apenas uma viagem por dia, enquanto o caminhão baú e o veículo motorizado não tripulado fazem 3 viagens por dia, teremos o caminhão compactador percorrendo 1824 km.mês⁻¹, o caminhão baú 1404 km.mês⁻¹ e o veículo não tripulado 295,2 km.mês⁻¹. Cabe ressaltar que o veículo motorizado não tripulado inicia a coleta ao sair do Ecoponto, enquanto o caminhão compactador percorre aproximadamente 76 km para realizar a coleta, destinar o material para as cooperativas e retornar à garagem. As informações obtidas dos fabricantes e das organizações de catadores indicam um consumo médio de quilometro por litro do caminhão compactador de 2 km.l⁻¹, caminhão baú de 4 km.l⁻¹ e do veículo motorizado não tripulado de 35 km.l⁻¹. Os valores dos combustíveis encontrados foram de R\$ 2,79 para o diesel e R\$ 3,79 para a gasolina.

Tabela 5: Comparação dos custos dos fixos e custos variáveis para cada meio de transporte utilizado.

		Veículo		
		Caminhão compactador	Caminhão sem compactação	Veículo motorizado não tripulado
Custos Fixos	Veículo	R\$ 177.500,00	R\$ 140.000,00	R\$ 16.700,00
	Depreciação*	R\$ 44.375,00	R\$ 35.000,00	R\$ 4.175,00
	Dispositivo de armazenamento	R\$ 70.000,00	R\$ 14.800,00	R\$ -
	Depreciação dispositivo	R\$ 17.500,00	R\$ 3.700,00	R\$ -
	Motorista	R\$ 3.562,48	R\$ 3.562,48	R\$ -
	Tributos	R\$ 7.290,38	R\$ 5.790,38	R\$ -
	Seguro veículo	R\$ 6.100,00	R\$ 4.500,00	R\$ -
	Seguro dispositivo	R\$ 3.000,00	R\$ -	R\$ -
	Custo fixo mensal	R\$ 15.594,15	R\$ 8.538,98	R\$ 444,36
Custos Variáveis	Manutenção por Km	R\$ 0,96	R\$ 1,48	R\$ 1,77
	Combustível por km	R\$ 1,61	R\$ 0,82	R\$ 0,11
	Lubrificante por km	R\$ 0,02	R\$ 0,02	R\$ -
	Lavagem por km	R\$ 0,20	R\$ 0,20	R\$ -
	Pneu por km	R\$ 0,22	R\$ 0,20	R\$ 0,40
		Custo variável por km	R\$ 3,01	R\$ 2,72

* Depreciação de 20% ao ano.

Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2016).

Já a tabela 06 apresenta uma simulação com os custos totais por tonelada, a cada 10 quilômetros e por viagem. Verifica-se que nos 3 casos o veículo motorizado não

tripulado apresenta os menores custos, seguido pelo caminhão compactador e caminhão sem compactação.

Tabela 6: Simulação dos custos totais por tonelada, 10 quilômetros rodados e viagens.

		Veículo		
		Caminhão compactador	Caminhão sem compactação	Veículo motorizado não tripulado
Custos Totais	Tonelada	R\$ 208,49	R\$ 418,94	R\$ 70,96
	10 Km	R\$ 86,14	R\$ 150,39	R\$ 35,48
	Viagens	R\$ 654,65	R\$ 293,26	R\$ 42,58

Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2016).

O veículo motorizado não tripulado apresenta os menores custos por tonelada (R\$ 70,96.ton⁻¹), para cada 10 quilômetros (R\$ 35,48.km⁻¹) e por viagem (R\$ 42,58.viagem⁻¹). Já os demais veículos, quanto ao custo por tonelada o caminhão compactador apresentou o valor de R\$ 208,49.ton⁻¹ e o caminhão sem compactação R\$ 418,40.ton⁻¹. Quanto aos custos para cada 10 quilômetros, o caminhão compactador exibiu o valor de R\$ 86,14.km⁻¹ e o caminhão baú R\$ 150,39.km⁻¹. Ao analisar a simulação de custos por viagem, vemos que o caminhão sem compactação se mostra menos oneroso que o caminhão compactador, com o custo de R\$ 293,26 por viagem e o compactador R\$ 654,65 por viagem.

3.5.1. DISCUSSÕES

Tendo em vista que foram encontradas poucas referências atuais e específicas acerca do tema estudado a discussão será baseada nos resultados apresentados.

Conforme apresentado na Tabela 3, o veículo com o dispositivo compactador apresentou uma maior capacidade de coleta, com valores em torno de 3.140 quilos por viagem, seguido do caminhão com carroceria tipo baú, com 700 quilos e veículo

motorizado não tripulado, com 200 quilos por viagem. Nota-se, também, que nenhum dos dispositivos conseguiram alcançar sua capacidade máxima de carga, sendo o volume um fator limitante para o planejamento da coleta.

Vale observar que segundo dados da COOTRABOM, a taxa de perda do material reciclável chega a 23 %. Essa perda ocorre principalmente pela compactação do material, quebra de vidros e vazamento de óleo de gordura residual que são armazenados em garrafas de PET, impossibilitando a triagem e a recuperação dos demais materiais recicláveis. Considerando que a coleta seletiva tem como premissa a recuperação do material reciclável e seu retorno à cadeia produtiva, não seria recomendável o uso do compactador, portanto, o mesmo não será considerado na proposição do modelo de coleta seletiva para o Rio de Janeiro.

Com relação ao custo dos totais, a tabela 06 e figura 26 apresentam a simulação dos custos totais dos 3 meios estudados.



Figura 26: Comparação dos custos totais por tonelada, 10 quilômetros rodados e viagem dos 3 meios.

Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2016).

Conforme exposto anteriormente, o veículo motorizado não tripulado associado ao transbordo apresenta custos inferiores para as 3 simulações, com custos por tonelada na ordem de $R\$ 70,96.ton^{-1}$, para enquanto o caminhão compactador apresentou o valor de $R\$ 208,49.ton^{-1}$ e o caminhão sem compactação $R\$ 418,40.ton^{-1}$. O CEMPRE (2014) mostrou que o custo por tonelada da coleta seletiva no Brasil é de $R\$ 439,26.ton^{-1}$,

sendo considerado 4,5 vezes superior ao coleta convencional. O valor apresentado pelo CEMPRE é similar ao valor encontrado no resultado para o caminhão sem compactação.

Entretanto, ao analisar os custos totais, vale a pena ressaltar que a capacidade e, conseqüentemente, abrangência da coleta do caminhão compactador é significativamente superior quando comparada com os demais meios, sendo 6 vezes superior em relação ao caminhão baú e 15 vezes superior ao do veículo motorizado não tripulado. Os principais fatores que levam a esse custo mais elevado se dão pelos custos dos equipamentos e aos custos de manutenção e combustível, tendo em vista que o caminhão compactador faz na faixa de 2 km.l⁻¹, o caminhão baú 4 km.l⁻¹ e o veículo não tripulado 35 km.l⁻¹.

Outro fator importante nesta análise, diz respeito às dimensões de cada veículo. Tanto o caminhão compactador como o caminhão baú apresentam dimensões que ocupam praticamente toda faixa de rolamento das vias locais e coletoras. Segundo o DNIT (2010), uma via local tem largura de faixa de rolamento mínima de 2,5 m e em vias coletoras e arteriais de 3,5 m. Os caminhões, devido a seu porte e velocidade de rodagem, causam interferências negativas significativas no tráfego. O que não acontece com o veículo motorizado não tripulado, que apresenta uma largura equivalente à metade da dos caminhões, com possibilidade de andar nas margens das vias sem interromper o fluxo de veículos local e/ou de subir em parte no meio fio, não causando impactos significativos no trânsito. Também é importante ressaltar que os caminhões apresentam certas restrições, como impossibilidade de acessar áreas específicas, dificuldades de realizar manobras em ruas sem saída e circulação restrita em algumas regiões.

4. PROPOSTA DO MODELO DE COLETA SELETIVA PARA O RIO DE JANEIRO

As ações voltadas para a coleta seletiva no Brasil são relativamente recentes quando comparadas com outros países, principalmente referente a países de primeiro mundo e que já possuem leis e programas de coleta seletiva bem estruturados, conforme apresentado no capítulo 2. O capítulo 3 mostrou o estudo de caso envolvendo 3 municípios (Jacobina/BA, João Monlevade/MG e Rio de Janeiro/RJ) que apresentaram os diferentes meios de coleta seletiva utilizado em cada um dos municípios estudados.

Os resultados expostos no presente capítulo apontam que o uso de novas tecnologias, como a do veículo motorizado não tripulado, nas operações da coleta seletiva podem resultar na redução dos custos da coleta, otimização do serviço, gerar postos de trabalho e reduzir os impactos no tráfego urbano decorrentes dos caminhões de coleta em áreas de densidade populacional elevada, que normalmente rodam em uma velocidade inferior à do tráfego local e ocupam uma grande área nas vias e faixas de rolamento.

Com isso, será apresentada uma proposta para implementação de um sistema de operacionalização da coleta seletiva com o uso de diferentes veículos, visando a adequação conforme as peculiaridades de cada região.

Antes é apresentada uma análise rápida que tem como objetivo definir alguns elementos gerais para a construção de uma metodologia de análise territorial voltada para definir sistemas de coleta de resíduos sólidos recicláveis no Município do Rio de Janeiro.

Nesse sentido, serão analisados alguns aspectos territoriais que ajudam a avaliar e definir qual o melhor método de coleta para um território com diferentes características socioambientais. Foram analisados aspectos relativos ao relevo, declividade das encostas que exercem importante papel sobre a mobilidade urbana e consequentemente o desejo viário implantado sobre este relevo.

Em seguida foram analisados aspectos relacionados à distribuição da população por bairros, considerando a população total e a densidade demográfica, já que os bairros

apresentam dimensões variáveis sendo necessário avaliar os dois tipos de relações para o entendimento da distribuição populacional.

Associado a isto, foram verificados os rendimentos médios familiares dos Bairros e os quantitativos totais de vias em quilômetros por bairros. Esta correlação permite, estabelecer algum tipo de relação entre renda e mobilidade, apesar de não ser um indicador definitivo, ajuda a entender as possibilidades de acesso a áreas de maior renda onde o consumo proporcional a produção de materiais reciclável em maior quantidade e valor.

Para finalizar, para minimizar os efeitos das relações entre tamanho de bairros e a distribuição viária, foram quantificados a relação da extensão viária em quilômetros por hectare, quantidade de habitantes por quilômetro de via, estimativa de materiais recicláveis gerados por bairro e estimativa de materiais recicláveis gerados por quilometro, possibilitando identificar bairros onde um maior ou menor número de habitantes produtores de resíduos sólidos estão mais acessíveis à coleta e aos diferentes tipos de coleta.

4.1. ANÁLISE DO RELEVO

Ao analisar o mapa hipsométrico do Município do Rio de Janeiro é possível verificar que a cidade subdividida em 4 compartimentos morfológicos delimitados por um relevo montanhoso em forma de arco, que inicia-se nas imediações do bairro do Recreio (porção sudoeste - SW) do município na proximidade do mar, estendendo-se até Jacarepaguá (porção central), delimitando um paredão rochoso que separa porção sul (S) da porção norte (N) do Município, estendendo-se até o Alto da Boa Vista (porção sudeste - SE) quando delimita a Zona Sul e Centro (compartimento leste - L) em contato com a Baía da Guanabara (Figura 27).

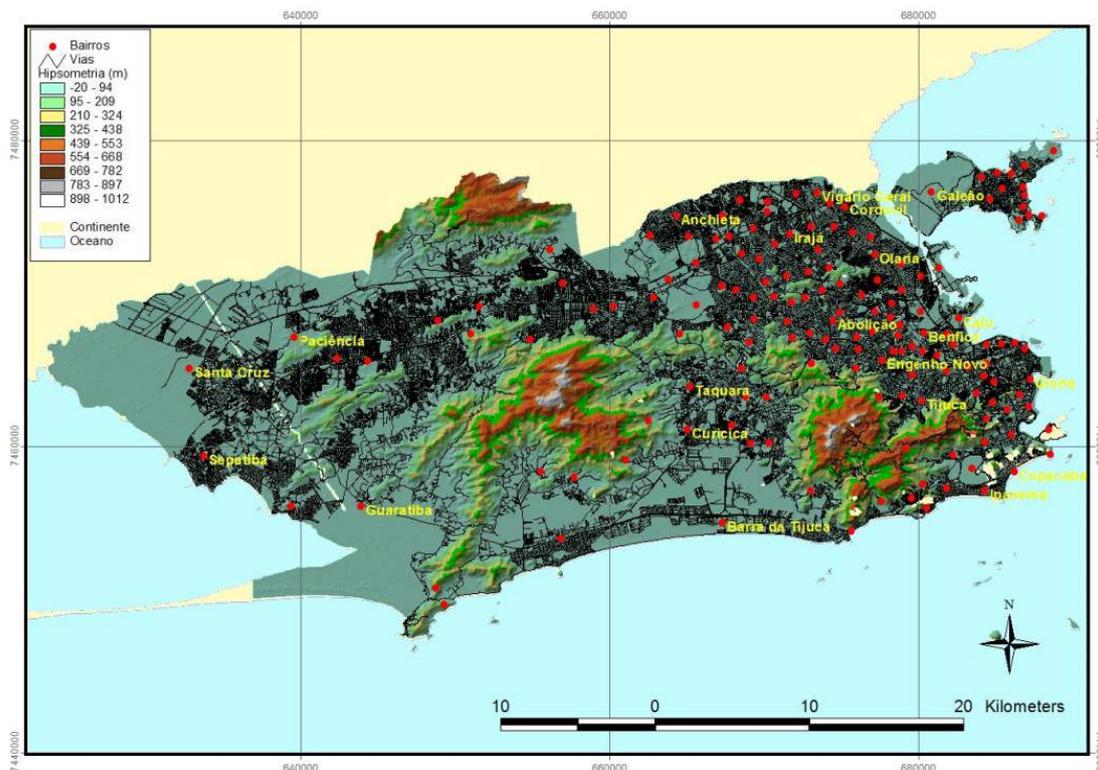


Figura 27: Mapa hipsométrico revelando a morfologia do relevo do Rio de Janeiro.
 Fonte: Elaborada pelo próprio autor a partir das bases cartográficas do IBGE (2017).

Esta configuração morfológica implica em fatores que impactam diretamente nas dinâmicas urbanas da cidade, pois além de existir um relevo que dificulta a conexão entre os diversos espaços, este relevo apresenta declividades bastante acentuadas nas vertentes destes morros (Figura 28), gerando com isto, um vazio urbano significativo na porção central do Município.

Assim, estas condições de relevo impõem restrições a implantação de vias, interferindo diretamente nas possibilidades dos sistemas de coleta para as diferentes condições de relevo.

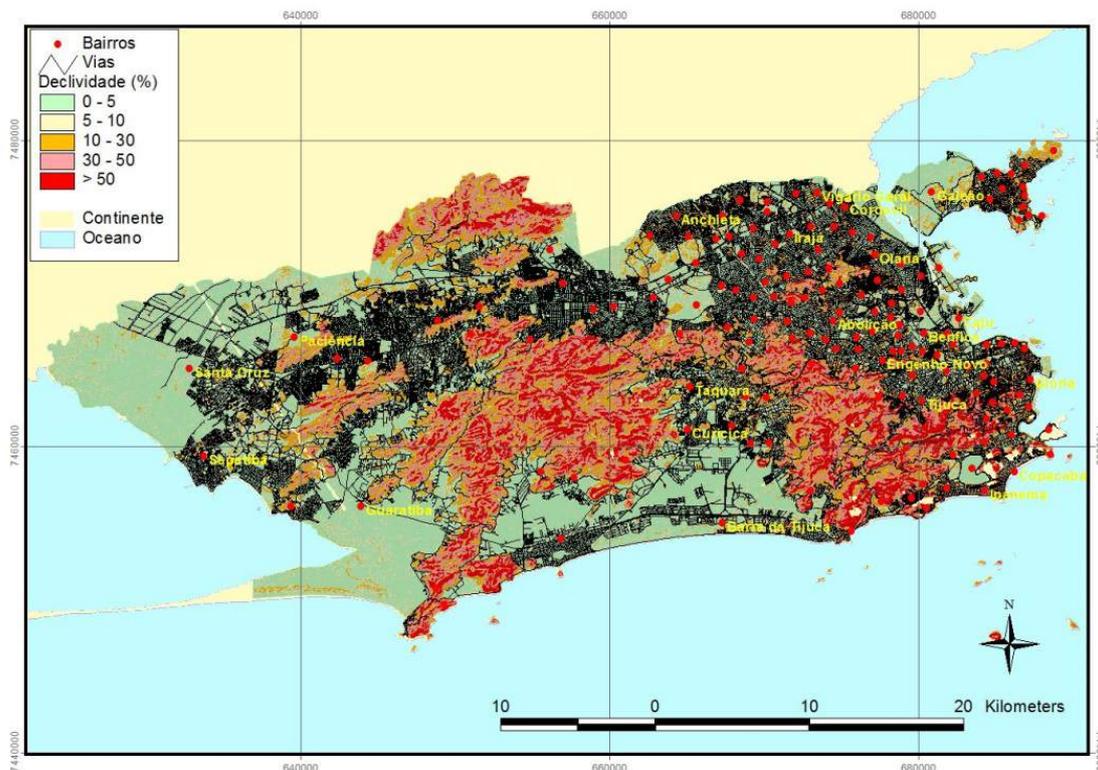


Figura 28: Mapa de declividade e suas implicações sobre o desenho viário e urbano da cidade.
Fonte: Elaborada pelo próprio autor a partir das bases cartográficas do IBGE (2017).

4.2. ANÁLISE POPULACIONAL

Tendo sido analisado macro características de relevo da cidade é importante compreender de que forma estas características influenciam a distribuição das populações em seu tecido urbano.

Apesar de não ser a unidade territorial mais indicada, pois não desagrega suficientemente as informações para análises mais específicas, a unidade Bairro atende satisfatoriamente os objetivos deste trabalho, já que permite identificar bairros onde os diferentes sistemas de coleta podem ser mais adequados com as condições socioambientais e operacionais dos equipamentos de coleta utilizados na cidade.

Uma breve análise da distribuição espacial das populações por bairros revela maiores quantitativos na Barra da Tijuca e Zona Sul (porção sul - S) e Zona Oeste (noroeste - NW) da cidade (Figura 29). Tais resultados se justificam em função de

nestas áreas existirem bairros com áreas expressivamente superiores aos bairros da região central e Zona Norte (porção leste - E e nordeste - NE da cidade). Uma análise isolada desta representação poderia dar uma visão distorcida sobre a distribuição da população das demandas de serviços e sistemas de coleta para estas áreas.

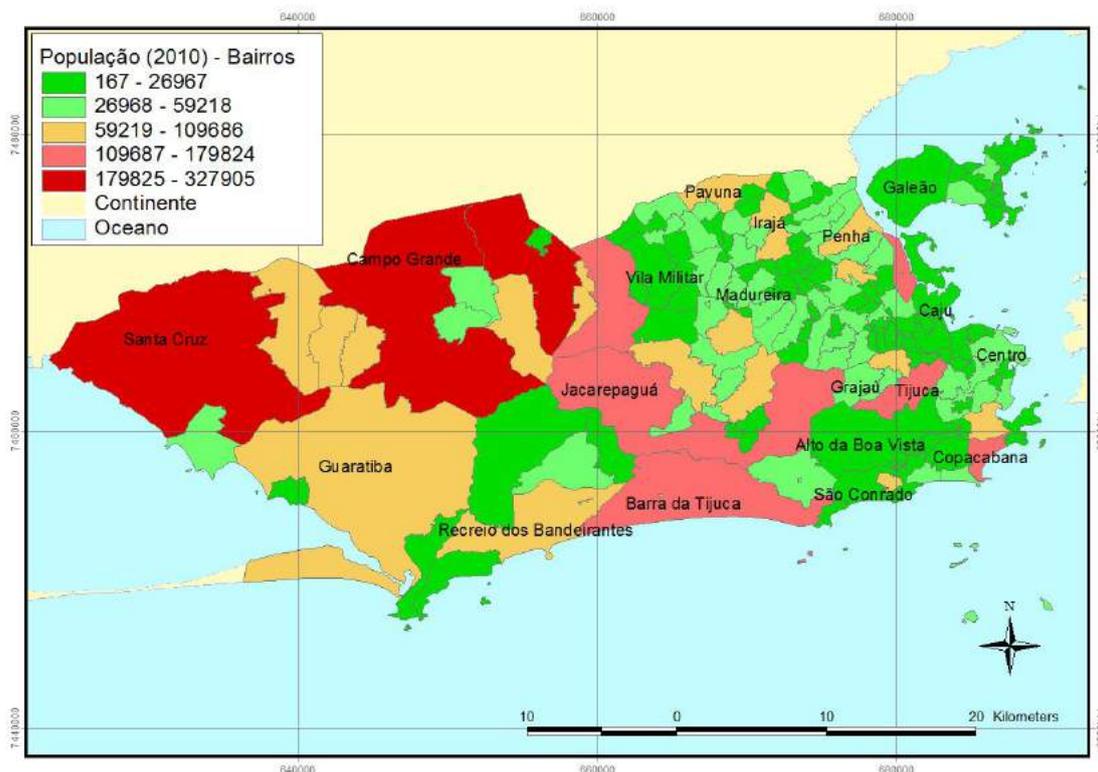


Figura 29: Mapa de população por Bairro.

Fonte: Elaborada pelo próprio autor a partir dos dados do censo do IBGE (2010).

Visando entender melhor a distribuição da população pelos bairros da cidade, foram calculadas as densidades demográficas, de habitantes por hectare por bairro (Figura 30), o que revelou informações que possibilitam um melhor planejamento referente a qual sistema de coleta seletiva adotar com base nas características locais.

A análise do mapa de densidade demográfica dos Bairros indica uma maior concentração populacional, justamente nas Zonas Sul, Centro e Norte (porção leste – E) da cidade, justamente pelo fato de serem bairros com menores áreas. Portanto, por meio da densidade demográfica (hab/ha) verifica-se que na porção leste do município concentra a maior parte da população da cidade, ou seja, um maior contingente populacional por área.

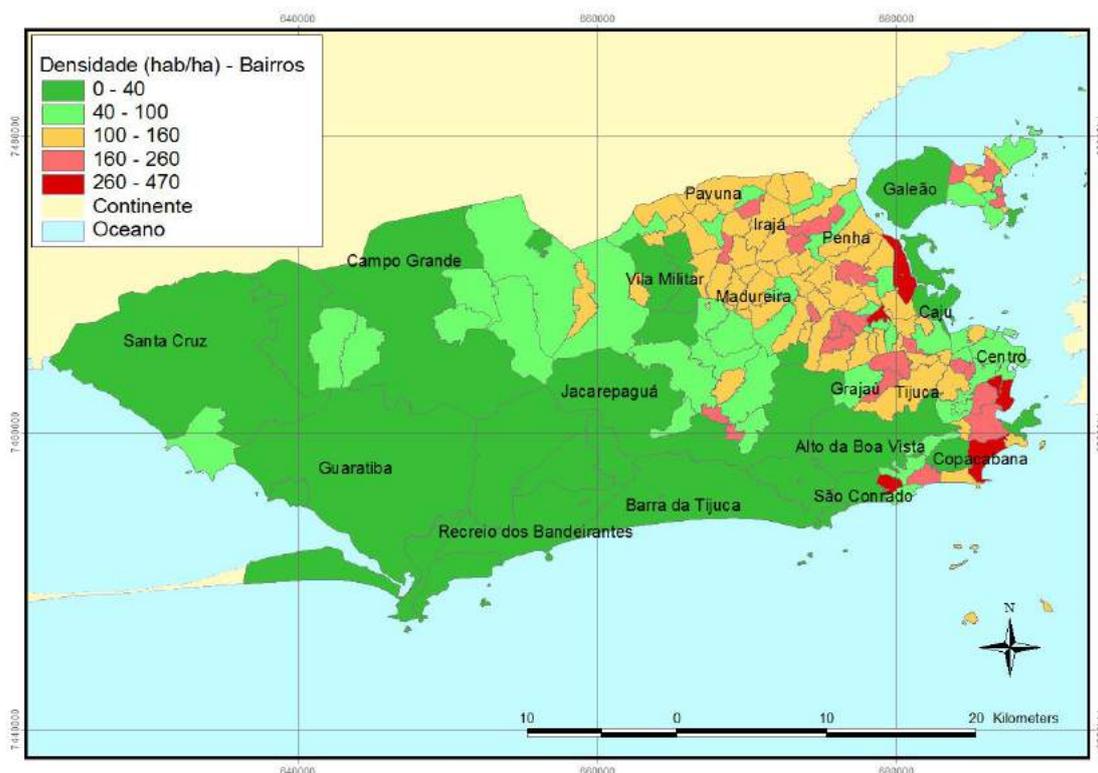


Figura 30: Mapa de densidade demográfica (hab/ha) por Bairro.
 Fonte: Elaborada pelo próprio autor a partir dos dados do censo do IBGE (2010).

4.3.DENSIDADE VIÁRIA

Outro fator de extrema importância no planejamento de qual modelo de coleta seletiva poderia ser adotado em locais com diferentes características é o sistema viário. Visando corrigir eventuais distorções da análise das extensões viárias por bairro, foram calculadas as extensões viárias em metros por hectare e da mesma forma que a análise das populações, revelou-se uma maior densidade (capilaridade) viária nas Zonas Sul, Centro e Norte da cidade (Figura 31).

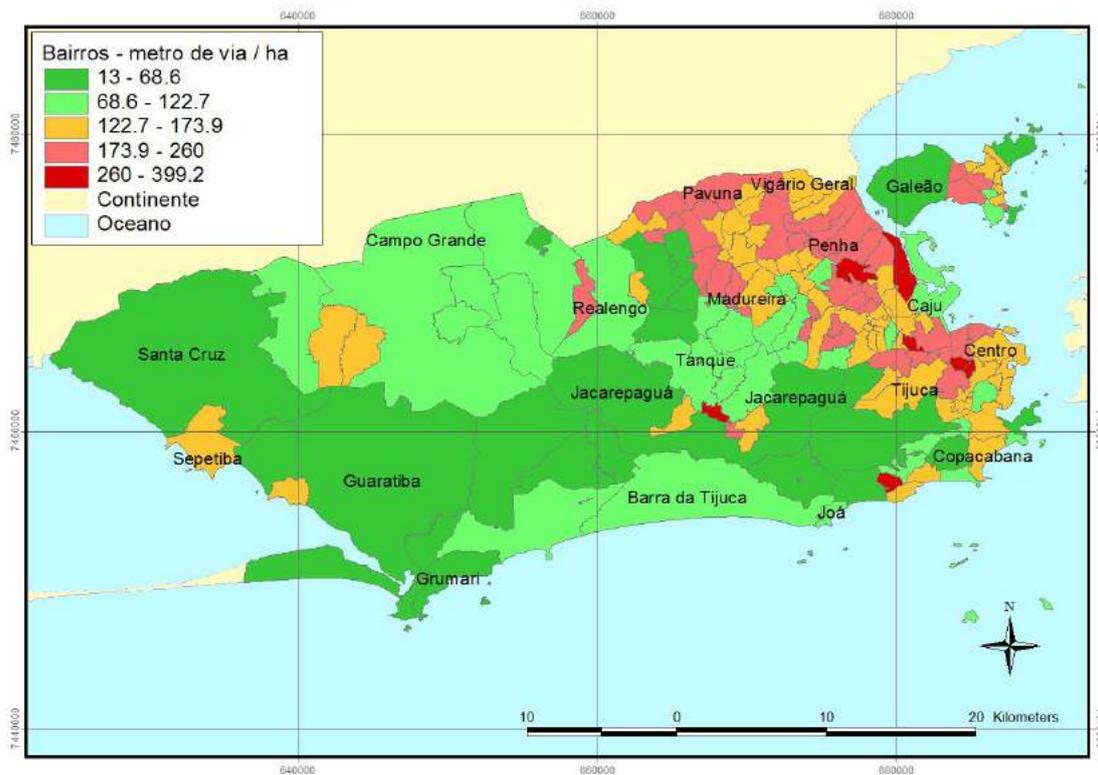


Figura 31: Mapa das extensões viárias em quilômetros por hectare nos bairros.
Fonte: Elaborada pelo próprio autor a partir dos dados do censo do IBGE (2010).

Para refinar o modelo, ou para testá-lo em análise mais específicas no futuro, foram analisadas a quantidade de habitantes por quilômetro de vias (Figura 32).

Os resultados destas análises revelaram que as Zonas Sul, Centro e Norte da cidade apresentam concentração de áreas mais viáveis, com indicação de bairros onde existe uma maior população por via, que em outras palavras significaria, muitos resíduos potencialmente recicláveis em curtas distâncias, o que seriam um fator importante para localização de ecopontos com catadores utilizando equipamentos de coleta de baixo custo.

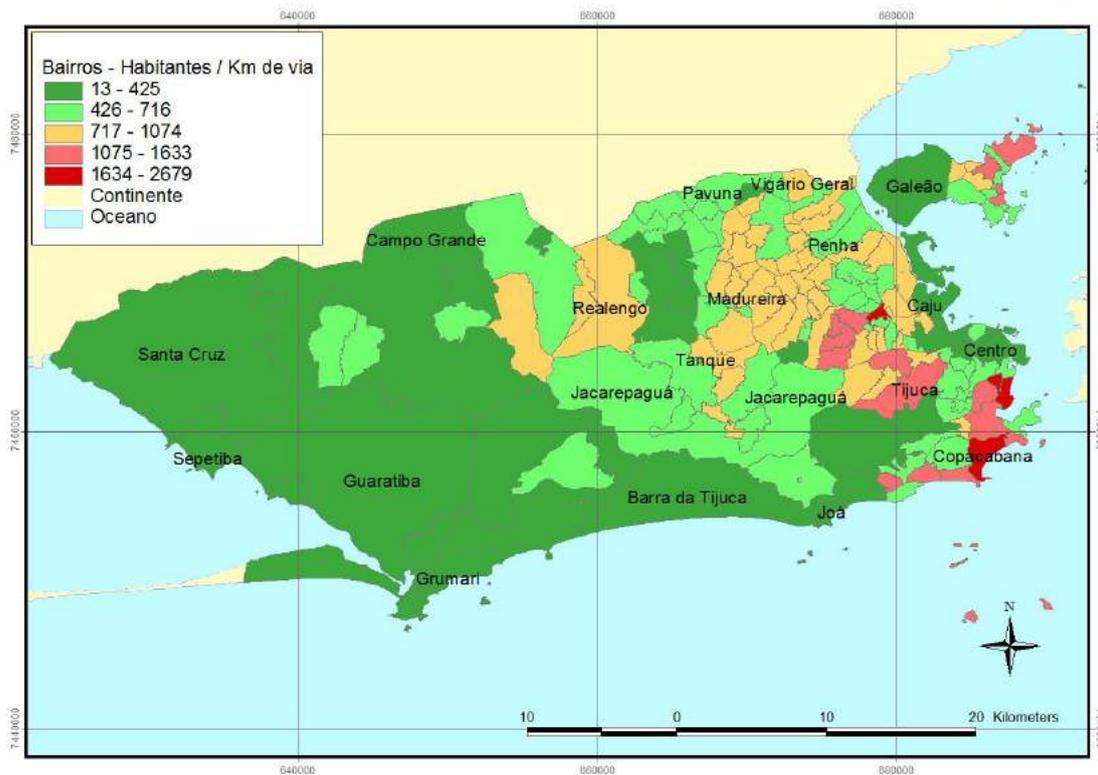


Figura 32: Mapa da relação de habitantes por quilômetros de via por bairros.
Fonte: Elaborada pelo próprio autor a partir dos dados do censo do IBGE (2010).

4.4. CORRELAÇÃO VIAS X RENDA X RECICLÁVEIS GERADOS

Tendo em vista que as maiores densidades demográficas ocorrem nos bairros localizados nas Zonas Sul, Centro e Norte, podemos considerar, por analogia, que estas áreas são as que produzem uma maior quantidade de resíduos sólidos domiciliares por área e, conseqüentemente, os bairros da Barra da Tijuca e Zona Oeste produzirem uma menor quantidade de RSD por área, o que a adoção de sistemas de coleta apropriados para cada local, capazes de atender melhor a população com menos recursos investidos.

Além da densidade, a renda média dos habitantes de cada bairro também merece atenção, já que pessoas com maior poder aquisitivo acabam gerando mais resíduos, principalmente os mais valorados hoje na cadeia produtiva dos recicláveis. Partindo-se desta premissa, investigou-se o rendimento médio das famílias residentes nos bairros, desagregados por setores censitários, onde pode-se observar que as famílias de maior rendimento residem na Barra da Tijuca (porção sul da AP 4) e os bairros mais próximos da orla da Zona Sul (Figura 33). Com isso, o que se vê é que as famílias mais próximas

do mar têm maior renda e, conseqüentemente, possam produzir maiores quantidade de resíduos recicláveis em função do maior potencial de consumo de produtos recicláveis, mas este tipo de inferência não é definitivo e deveria ser objeto de análises mais específicas.

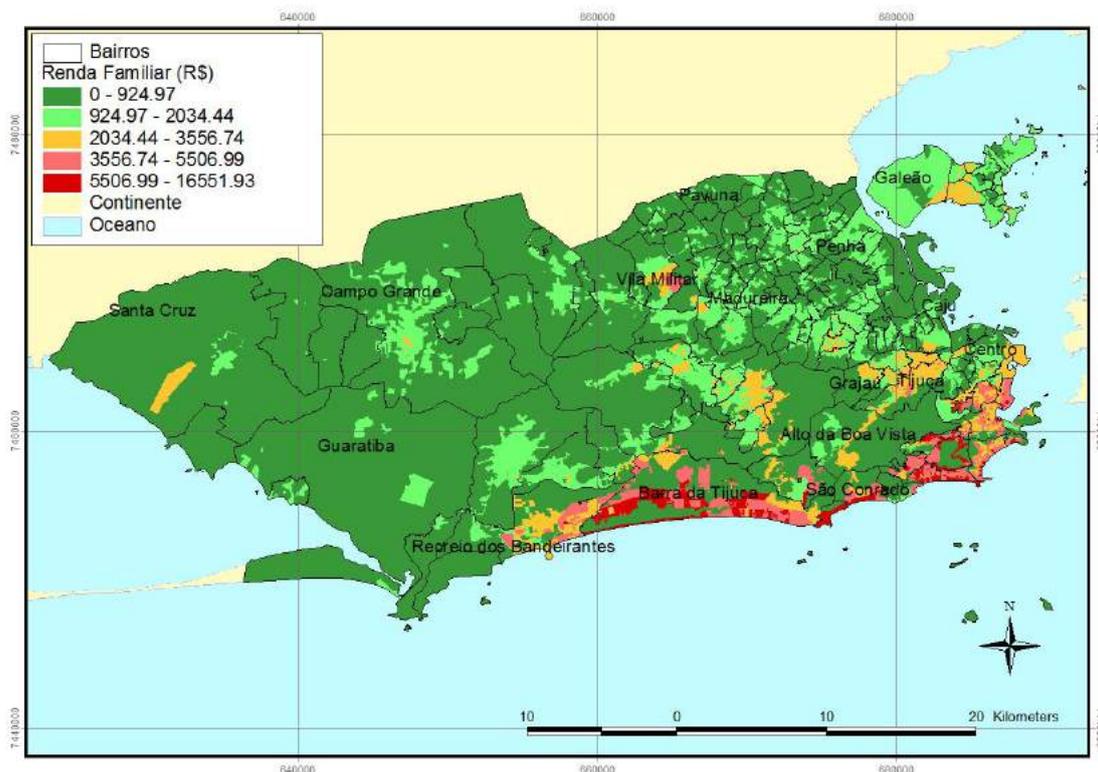


Figura 33: Mapa de Renda Média Familiar (R\$) por Bairro.

Fonte: Elaborada pelo próprio autor a partir dos dados do censo do IBGE (2010).

Em seguida foram analisadas as extensões viárias em quilômetros por bairros (Figura 34). Neste caso, a dimensão do bairro mostrou um elemento importante na explicação dos quantitativos. Cabe fazer uma breve reflexão nesse ponto, pois bairros com maior distância ao núcleo original da cidade, e como os localizados na Barra da Tijuca e Zona Oeste, foram implementados longos eixos lineares para acessar estes bairros, criando vias longas que oneram a coleta dos resíduos sólidos nestas áreas. É importante explicitar que o tecido urbano de melhor renda localizado na porção sul (Barra da Tijuca e Zona Sul) do município próximo à praia é bastante denso e verticalizado na estreita planície marinha entre os morros e o mar. A baixa densidade do bairro, pode não corresponder a faixa próxima ao mar o que remete a uma avaliação específica mais desagregada desta porção territorial.

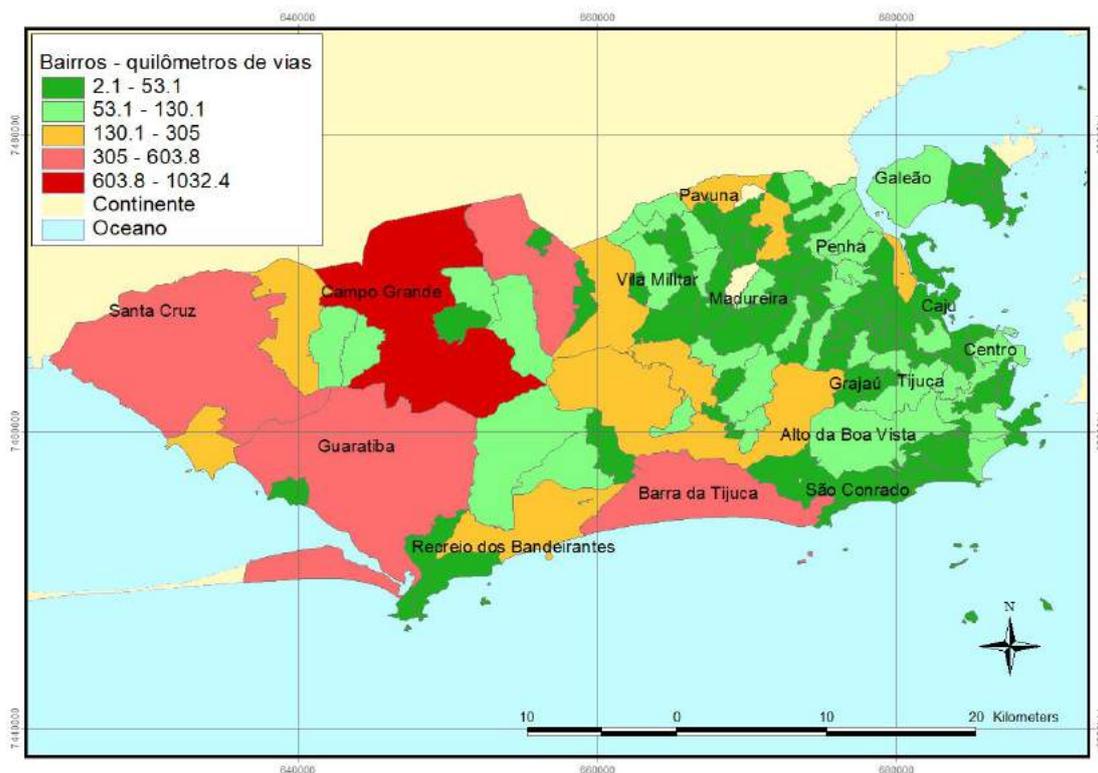


Figura 34: Mapa das extensões viárias em quilômetros por bairros.
 Fonte: Elaborada pelo próprio autor a partir dos dados do censo do IBGE (2010).

Por fim, foram feitas análises da quantidade de material reciclável gerado por dia por bairro (Figura 35) e quantidade de materiais recicláveis gerados por quilometro por dia (Figura 36).

Tendo em vista que o Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos - PMGIRS da cidade do Rio de Janeiro apresenta os valores diários per capita de resíduos sólidos domiciliares - RSD gerados por habitante em cada AP e que a proporção de materiais efetivamente recicláveis presentes nesse RSD é de 25%, a tabela 07 apresenta as informações referentes a população, área e densidade demográfica de cada AP e quantidade de material reciclável prevista a ser gerada em cada área de planejamento do Rio de Janeiro.

Tabela 7: População, densidade demográfica e quantidade de material reciclável prevista a ser gerada em cada área de planejamento do Rio de Janeiro.

Dados		AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 5	TOTAL
População	Hab	307261	1006780	2399437	990545	1749659	6453682
	Área (Km ²)	34,39	5,97	203,47	293,79	592,45	1130,07
	Densidade	8935	168640	11793	3372	2953	5711
Resíduos Coletados	Ton/dia RSD	375	709	1791	736	1280	4890
	Ton/dia REC	94	177	448	184	320	1223
Per Capita REC (kg/hab/dia)		0,30	0,18	0,19	0,19	0,18	0,19

Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2017).

Os valores de materiais recicláveis gerados por dia por habitante obtidos por meio do PMGIRS do Rio de Janeiro foram espacializados por bairro e apresentados na figura 35, onde podemos observar que os bairros da Zona Norte, que são mais populosos apresentam uma maior quantidade de materiais recicláveis por dia.

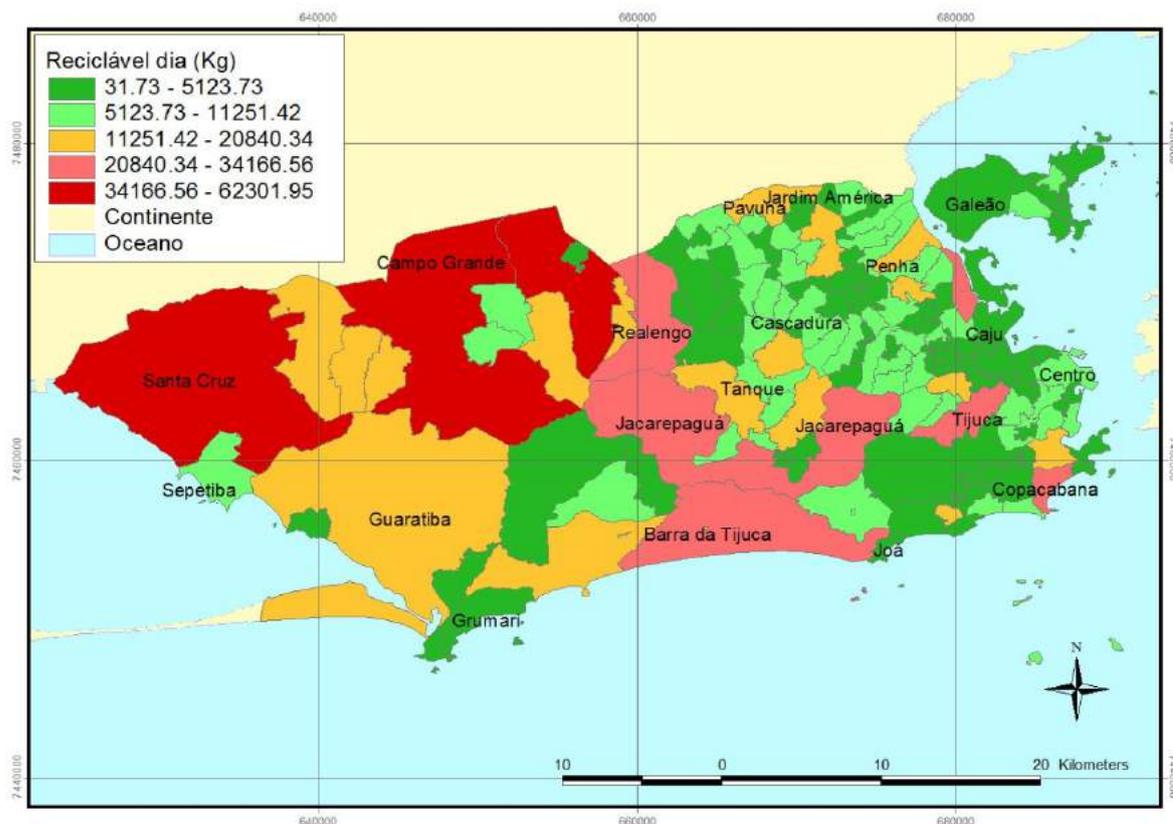


Figura 35: Quantidade de Material Reciclável gerado por dia por bairro.

Fonte: Elaborada pelo próprio autor a partir dos dados do censo do IBGE (2010) e PMGIRS-RJ (2016).

Com base na quantificação da quilometragem, população e quantidade de materiais recicláveis por bairro, foi feita uma análise da quantidade de materiais recicláveis gerados por quilometro e por bairro (Figura 36), que indica que os bairros da Zona Sul são os que mais geram materiais por quilometro.

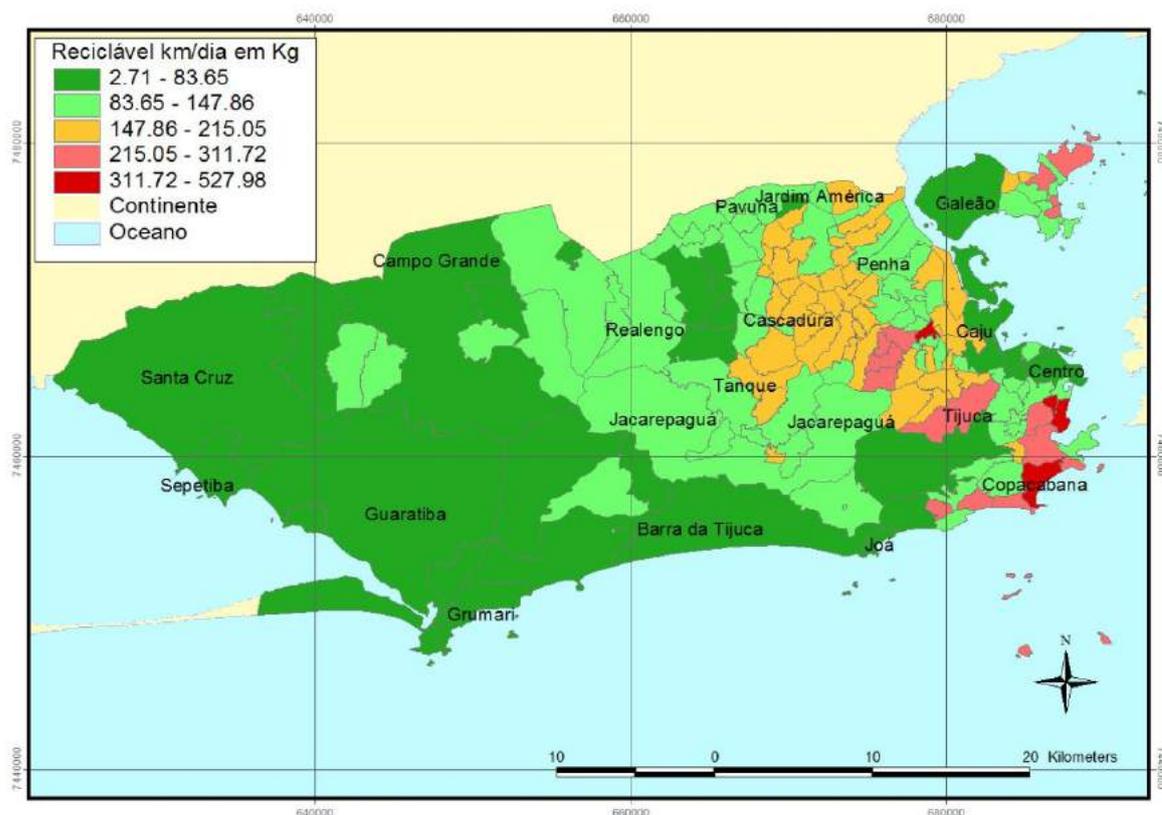


Figura 36: quantidade de materiais recicláveis gerados por quilometro e por bairro.
Fonte: Elaborada pelo próprio autor a partir dos dados do censo do IBGE (2010) e PMGIRS-RJ (2016).

4.5. SUGESTÃO DE IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE COLETA SELETIVA

As informações apresentadas nos capítulos e tópicos anteriores mostram a diversidade de opções que podem ser adotadas para uma melhor gestão dos resíduos recicláveis. O Rio de Janeiro, por conta de sua geografia, apresenta regiões distintas que requerem diferentes tratamentos para otimizar o sistema de coleta.

Com base nos estudos de caso apresentados no capítulo 3 e os resultados apresentados no capítulo 4 podemos considerar o uso de diferentes modais para realização da coleta seletiva no município do Rio de Janeiro.

Com isso, sugere-se o uso de veículo motorizado não tripulado associado uma estação de transferência como uma alternativa para reduzir os custos de coleta, causar menos impactos no tráfego local e melhorar os índices de coleta em áreas de elevada densidade demográfica, onde existe uma maior população por via, que em outras palavras significaria, muitos resíduos potencialmente recicláveis em curtas distâncias, como o caso dos bairros das Zona Sul, Região Central e Zona Norte (AP's 1, 2 e 3).

Já para as regiões com maiores áreas, que embora populosas e possuam mais vias, apresentam uma baixa densidade demográfica e menos oferta de recicláveis por quilometro de via, como o caso dos bairros da Barra da Tijuca e Zona Norte (AP's 4 e 5), recomenda-se o uso de caminhões sem compactação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O planejamento adequado visando a otimização de recursos, eficiência e qualidade na prestação de serviços são fundamentais para a implementação e manutenção dos programas de coleta seletiva, tendo em vista o atendimento à Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Uma análise dos fatores relativos a aspectos locais, densidade populacional, renda e gravimetria é essencial para a definição do melhor meio a ser utilizado.

Embora apresente menores custos e menos impacto ao tráfego urbano, o veículo não tripulado com motor de combustão proporciona uma baixa capacidade de armazenagem, fazendo-se necessária uma estação de transferência (Ecoponto) para transbordo do material coletado, sendo uma boa opção para regiões de difícil acesso para caminhões, tráfegos intensos e áreas de ocupação urbana mais horizontais, sendo uma boa alternativa para uma região de alta densidade demográfica.

Já o caminhão baú, apesar de ter custos significativos, tem uma capacidade média de transporte e um custo de manutenção relativamente inferior ao do compactador, além de possuir uma autonomia maior, o que pode representar uma alternativa em regiões populosas, com áreas maiores e baixa densidade. No entanto, é importante analisar as condições de tráfego, infraestrutura viária local e distância entre os pontos de coleta, para otimizar seu rendimento.

O veículo compactador apresenta melhor eficiência com relação a abrangência da coleta, sendo consideravelmente superior aos demais meios estudados. Contudo, o uso deste meio requer investimentos elevados, além de apresentar alto custo operacional, tanto no referente ao consumo de combustível, quanto de manutenção, conforme também apontado por MILANEZ (2002). O uso do caminhão compactador apresenta-se também como uma boa alternativa para regiões populosas com áreas maiores e baixa densidade, onde ocorre uma alta geração de resíduos, mas mais espalhados. Entretanto, segundo os dados da COOTRABOM, onde a perda deste material chega a 23 %, são necessárias análises mais precisas no que se refere a qualidade em que esse material chega nas áreas de triagem, pois a premissa da coleta seletiva é o retorno deste produto à cadeia produtiva, mitigando os impactos negativos causados pela inadequada gestão e

disposição incorreta desses materiais no meio ambiente, reduzindo, assim, a extração de matéria prima da natureza.

Finalmente, recomenda-se a aplicação de diferentes modais para a realização a coleta seletiva no Rio de Janeiro. Para trabalhos futuros, sugere-se a implementação e monitoramento do uso da estação de transbordo associado ao veículo de pequeno porte em bairros de alta densidade demográfica, como os bairros do Catete e Flamengo, e o uso de caminhão baú em bairros populosos, mas de baixa densidade demográfica, como o bairro de Campo Grande.

Assim, o presente estudo pode ser um importante documento para dar subsídio para a tomada de decisão por parte dos órgãos e instituições responsáveis pela gestão de resíduos municipais no planejamento, para assim determinar qual seria a melhor opção de meio de transporte a ser utilizado de acordo com as características locais.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BESEN, Gina Rizpah. **Programas municipais de coleta seletiva em parceria com organizações de catadores na Região Metropolitana de São Paulo: desafios e perspectivas**. 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. Diário Oficial da União 2007.

BRINGHENTI, J. (2004) **Coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos: aspectos operacionais e da participação da população**. Tese de Doutorado. Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública. Universidade de São Paulo. São Paulo.

CEMPRE. **Pesquisa CICLOSOFT**. Brasil: CEMPRE; 2014. Disponível em: <URL: <http://www.cempre.org.br>> [2016 mar 06].

COSTA e SILVA EC, Prasad S, Leite VD. Lixo X Sobrevivência: Uma Análise Socioeconômica e Ambiental do *Forno do Lixo* da cidade de Natal - RN. In: 21^o **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**; 2001 set 16-21; João Pessoa (PB). s.l.: ABES; 2001.

CONKE, L. S. **Barreiras ao Desenvolvimento da Coleta Seletiva no Brasil**. 199 fl. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

CUNHA, Valeriana; CAIXETA FILHO, José Vicente. Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos: estruturação e aplicação de modelo não-linear de programação por metas. **Gestão & Produção**, v. 9, n. 2, p. 143-161, 2002.

DAHLÉN, Lisa; LAGERKVIST, Anders. Pay as you throw: strengths and weaknesses of weight-based billing in household waste collection systems in Sweden. **Waste management**, v. 30, n. 1, p. 23-31, 2010a.

DAHLÉN, Lisa; LAGERKVIST, Anders. Evaluation of recycling programmes in household waste collection systems. **Waste Management & Research**, v. 28, n. 7, p. 577-586, 2010b.

DAHLÉN, Lisa et al. Comparison of different collection systems for sorted household waste in Sweden. **Waste Management**, v. 27, n. 10, p. 1298-1305, 2007.

EIGENHEER, Emilio Maciel. A limpeza urbana através dos tempos. **Porto Alegre, RS: Pallotti**, 2009.

EIGENHEER, Emilio Maciel; FERREIRA, João Alberto. Três décadas de coleta seletiva em São Francisco (Niterói/RJ): lições e perspectivas. **Eng. sanit. ambient**, v. 20, n. 4, p. 677-684, 2015.

EUROSTAT: News Release 33/2013.
<http://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/5160410/8-04032013-BP-EN.PDF/c8bcd2cd-a8d0-4bf1-b862-62209408c532?version=1.0> (2013). Acessado em 14 Dez 2016.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. 02/2013. Managing Municipal solid waste: a review of achievements in 32 European countries. Disponível em: <http://www.eea.europa.eu/publications/managing-municipal-solid-waste>. Acessado em 11 Dez 2016.

GALLARDO, Antonio et al. Evolution of sorted waste collection: a case study of Spanish cities. **Waste Management & Research**, p. 0734242X12443584, 2012.

KOGLER, T. Waste collection—A report. With support from ISWA Working Group on Collection and Transportation Technology. **ISWA Report**, v. 1, 2007.

LARSEN, Anna Warberg et al. Waste collection systems for recyclables: an environmental and economic assessment for the municipality of Aarhus (Denmark). **Waste Management**, v. 30, n. 5, p. 744-754, 2010.

LEITE, Paulo Roberto. Logística reversa: meio ambiente e competitividade. In: **Logística reversa: meio ambiente e competitividade**. 2009.

MAGNI, Ana Amélia Calaça. **Cooperativas de catadores de resíduos sólidos urbanos: perspectivas de sustentabilidade**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MANUAL DE SANEAMENTO – FUNASA: **Engenharia de Saúde Pública – Orientações Técnicas**. 3 a Ed. Brasília-DF: Ministério da Saúde – Fundação Nacional da Saúde, 2004. 407p.

MARTINS, L. A. T. P. ; FIGUEIREDO, Sara Almeida de ; NEVES, Ednalva Félix das ; PERES, Maria Thereza Miguel . **Cooperativa de Trabalho: A Experiência do Reciclador Solidário de Piracicaba**. In: 2o. Congresso Brasileiro de Extensão Universitária, 2004, Belo Horizonte – MG. Anais do 2o. Congresso de Extensão Universitária, 2004. v. Cdroom

MARTINS, Lília Aparecida de Toledo Piza et al. Cooperativa de trabalho: experiência do reciclador solidário de Piracicaba. In: **Cooperativa de trabalho: experiência do reciclador solidário de Piracicaba**. UNIMEP, 2004.

MATTSSON, Cecilia H.; BERG, Per EO; CLARKSON, Paul A. The development of systems for property close collection of recyclables: experiences from Sweden and England. **Resources, conservation and recycling**, v. 38, n. 1, p. 39-57, 2003.

MCIDADES.SNSA.SNIS, 2016. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2014**. Brasília. Disponível em: <URL: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2014>> [2016 mai 30].

MIAFODZYEVA, Sviatlana; BRANDT, Nils. Comparative analysis of household waste composition in the different districts of Stockholm. In: **WASTES: Solutions, Treatments and Opportunities. 1st International Conference, September 12-14,**

2011, Guimaraes, Portugal. CVR–Centro para a Valorização de Resíduos, 2011. p. 481-485.

MILANEZ, Bruno. **Resíduos sólidos e sustentabilidade: princípios, indicadores e instrumentos de ação**. 2002. Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR). Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia.

MONTEIRO J. H. P. [et al.]. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

OLIVEIRA, Artur Santos Dias de. **Método para viabilização de implantação de Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos: o caso do município do Rio Grande -RS**. Florianópolis, 2002: Tese de Doutorado – Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina.

PERIOTTO, Alvaro Jose; FURLAN, Leticia Adriana. UM ESTUDO SOBRE A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE CIDADE GAÚCHA–PR. **Caderno de Administração**, v. 20, n. 2, p. 66-82, 2013.

RIBEIRO, Helena; RIZPAH BESEN, Gina. Panorama da coleta seletiva no Brasil: desafios e perspectivas a partir de três estudos de caso. **InterfaceEHS-Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 2, n. 4, 2011.

RIBEIRO, Túlio Franco; DO CARMO LIMA, Samuel. Coleta seletiva de lixo domiciliar-estudo de casos. **Caminhos de geografia**, v. 2, n. 2, 2006.

RIO DE JANEIRO. Lei Municipal n. ° 3.273, de 06 de setembro de 2001. **Dispõe sobre a Gestão do Sistema de Limpeza Urbana no Município do Rio de Janeiro**, 2001.

RIO DE JANEIRO. Lei Complementar nº 111, de 1º de fevereiro de 2011. **Câmara Municipal do Rio de Janeiro**, v. 28, 2011.

ROTH, Berenice W.; ISAIA, E. M. B. I.; ISAIA, Tarso. Destinação final dos resíduos sólidos urbanos. **Ciência e Ambiente**, v. 18, n. 1, p. 25-40, 1999.

RVF. Svensk Avfallshantering. Årsskrift (Swedish Waste Management. Annual Report). Svenska Renhållningsverksföreningen (The Swedish Association of Waste Management), Malmö, Sweden. 2016.

SCHIRMER, Waldir Nagel et al. AVALIAÇÃO DE IMPLANTAÇÃO DA COLETA SELETIVA EM MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE–ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE IRATI (PR). **Tecno-Lógica**, v. 13, n. 1, p. 46-51, 2009.

SILVA, Erineide da Costa et al. Lixo x sobrevivência: uma análise socioeconômica e ambiental do. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21ª Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental, 4**. ABES, 2001. p. 1-10

XEVGENOS, Dimitrios et al. Success stories for recycling of MSW at municipal level: A review. **Waste and Biomass Valorization**, v. 6, n. 5, p. 657-684, 2015.

