

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**

**Raquel Lopes de Oliveira**

**LOGÍSTICA REVERSA: A UTILIZAÇÃO DE UM  
SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS  
NA COLETA SELETIVA DE MATERIAIS  
RECICLÁVEIS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como requisito parcial à obtenção do título de *Mestre em Engenharia de Produção*

**Área de Concentração:**

Produção e Tecnologia

**Orientador:** Prof. Dr. Renato da Silva Lima

**Itajubá**

**Abril - 2011**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –  
Bibliotecária Margareth Ribeiro- CRB\_6/1700

O48c

Oliveira, Raquel Lopes

Logística reversa: a utilização e um sistema de informações geográficas na coleta seletiva de materiais recicláveis / Raquel Lopes de Oliveira. -- Itajubá, (MG) : [s.n.], 2011.

151 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Renato da Silva Lima.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Resíduos sólidos urbanos. 2. Logística reversa. 3. Sistema de informações geográficas para transportes. 4. Coleta seletiva de materiais recicláveis I. Lima, Renato da Silva, orient. II. Universidade Federal de Itajubá. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**

**Raquel Lopes de Oliveira**

**LOGÍSTICA REVERSA: A UTILIZAÇÃO DE UM  
SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS  
NA COLETA SELETIVA DE MATERIAIS  
RECICLÁVEIS**

Dissertação aprovada por banca examinadora em  
04 de Abril de 2011, conferindo ao autor o título  
de *Mestre em Engenharia de Produção*.

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Renato da Silva Lima (Orientador)  
Prof. Dr. Marcos Eduardo Cordeiro Bernardes  
Prof. Dr. Antônio Néelson Rodrigues da Silva

**Itajubá  
Abril - 2011**

*“Dedico este trabalho aos meus pais e irmãos, por todas as renúncias e apoio neste momento da minha vida. Ao meu querido, Willian, que tanto me incentivou e auxiliou nesta caminhada”.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, a Virgem Maria e ao meu Anjo da Guarda que em todos os momentos difíceis se fizeram presentes pela força do sempre continuar.

Aos meus pais, familiares e amigos de Campo Belo/MG, que torceram por mim e me apoiaram para não desistir diante das dificuldades encontradas.

Ao meu namorado e amigo Willian, um presente de Deus, que agradeço por todo empenho, paciência, compreensão e tempo a mim dedicado.

Aos amigos Aneirson, Danielle, Duarte, Sandra Neves e Sandra Xavier, pelo privilégio de conhecê-los e por tornaram esta caminhada mais tranquila e descontraída.

À querida Alice, que mesmo a distância sempre me acompanhou e esteve presente com sua alegria e doação.

Ao meu professor orientador, Renato da Silva Lima, pelo prestígio de seu voto de confiança e dedicação de seu tempo para me instruir e guiar nos caminhos do conhecimento.

Aos demais professores e funcionários da pós-graduação da UNIFEI, assim como aos colegas de mestrado, especialmente ao Daniel, que contribuíram e participaram ao longo desta dissertação.

A todos os professores e amigos que me acompanharam durante minha graduação, na Universidade Federal de São João Del-Rei/MG.

À incubadora INTECOOP, à Prefeitura Municipal de Itajubá e à ACIMAR que colaboraram com o desenvolvimento deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), que financiou esta pesquisa por meio de uma bolsa de estudo, assim como a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) que permitiram a participação em congressos e subsidiaram projetos de pesquisa associados a esse trabalho.

*“Ninguém ignora tudo. Ninguém sabe tudo. Todos nós sabemos alguma coisa. Todos nós ignoramos alguma coisa. Por isso aprendemos sempre”. Paulo Freire*

## RESUMO

O crescimento populacional e econômico, aliado às mudanças no estilo de vida das pessoas, contribui para o aumento da geração *per capita* dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), que se mal administrados podem causar impactos significativos ao meio ambiente e a saúde pública. Nesse contexto, uma estratégia que está sendo cada vez mais utilizada, tanto pelo poder público quanto em instituições privadas, é a Logística Reversa (LR). Seu conceito é visto, no âmbito dos RSU, como uma alternativa para a destinação final dos resíduos, que por meio da coleta seletiva e da reciclagem, visa ao reaproveitamento de matéria-prima e energia, a geração de emprego, de renda e a mitigação dos danos ao meio ambiente.

Especificamente no Brasil, observa-se dentro da cadeia reversa da reciclagem a participação de milhares de pessoas no processo de catação/coleta dos materiais recicláveis. Esses trabalhadores, conhecidos como catadores, são um elemento fundamental da LR, mas infelizmente têm, ainda hoje, uma jornada de trabalho exaustiva, percorrendo dezenas de quilômetros e muitas vezes sob intempéries. Com o objetivo de promover a inclusão social e melhores condições para essa classe de trabalhadores, verifica-se um crescente número de leis e políticas tendo como foco principal a criação e fortalecimento de associações/cooperativas de catadores. Ao mesmo tempo, as atividades presentes na LR (localização de atividades, transportes, escolha da frota dos veículos, roteirização etc.) são um desafio que está inserido na rotina desses empreendimentos ao exercerem a função de coletar e transportar os resíduos, desde a fonte geradora até o depósito onde é realizada a triagem e o processamento dos materiais para a comercialização.

Constata-se assim a oportunidade para a utilização de ferramentas computacionais que apoiem esse processo de planejamento e tomada de decisões. Desta forma, o objetivo desse trabalho é utilizar um Sistema de Informações Geográficas para Transportes no planejamento da logística reversa de um programa de coleta seletiva de materiais recicláveis em meio urbano, tendo como objeto de estudo uma associação de catadores de materiais recicláveis localizada na cidade de Itajubá/MG. O método de pesquisa adotado é a modelagem e simulação. Os resultados obtidos, quando comparados ao sistema atual, apresentaram índices melhores do que o atual sistema em todas as simulações, seja por meio da instalação de Pontos de Entrega Voluntária (PEVs), da coleta seletiva porta-a-porta ou mesmo apenas com a exclusão de pontos de pesagens obrigatórias do atual sistema. Assim, em termos gerais, pode-se constatar que os principais problemas logísticos existentes no caso de Itajubá são consequência direta da má estruturação do sistema de coleta como um todo. Com as primeiras simulações já foi possível observar que as maiores reduções nos parâmetros de roteirização (distância e tempo) foram obtidas quando excluiu-se a necessidade das viagens até ao aterro para as pesagens do caminhão. Assim, uma melhoria considerável na produtividade poderia ser alcançada a curto prazo, para o caso específico da coleta seletiva de Itajubá, com a exclusão dessas viagens ao aterro.

**Palavras-chave:** Resíduos Sólidos Urbanos, Logística Reversa, Sistema de Informações Geográficas para Transportes, Coleta Seletiva de Materiais Recicláveis, Catadores.

## ABSTRACT

Population and economic growth, along with changes in individuals' lifestyles, has contributed to the increase in per capita generation of Municipal Solid Waste (MSW), which, if poorly managed, may cause significant impacts to the environment and public health. In this context, a strategy that is being increasingly used by both the public and private institutions is Reverse Logistics (RL). This concept is seen, in the scope of MSW, as an alternative to waste disposal which, by means of selective collection and recycling, targets the reuse of raw materials and energy, generating employment, income and mitigation of damages to the environment.

Specifically in Brazil, in reverse chain of recycling involving thousands of people in the process of picking / collection of recyclable materials is observed. These workers, known as gatherers, are a key element of RL, but unfortunately they have, even today, a day of exhaustive work, covering dozens of miles and often under adverse weather conditions. Aiming to promote social inclusion and better conditions for this class of workers, there is a growing number of laws and policies, focusing mainly on the creation and strengthening of associations/cooperatives of gatherers. At the same time, the activities present in RL (location of activities, transportation, choice of the fleet of vehicles, routing etc) are challenges that are inserted into the routine of these enterprises to exercise the function of collecting and transporting waste from the generating source to the warehouse where the sorting and processing of materials for commercialization takes place.

There is an opportunity to use computational tools to support this planning and decision making process. Thus, the objective of this work is to use a Geographic Information System for Transportation in the planning of reverse logistics in a program of selective collection of recyclable materials in urban areas, where the object of study is an association of gatherers of recyclable materials from the Brazilian city of Itajubá in the state of Minas Gerais. The adopted research method is modeling and simulation. The results, when compared to the current system, presented better rates than the current system in all of the simulations, whether through the installation of Voluntary Drop-Off Points (VDPs) of selective door-to-door or even just with deleting points from compulsory weighing of the current system. Thus, in general terms, one can see that the major logistical problems in the case of Itajubá are a direct result of poor structuring of the collection system as a whole. In the first simulations it was possible to observe the greatest reductions in routing parameters (distance and time) were obtained when the necessity for trips to the landfill for the weighing of the truck was excluded. Thus, a considerable improvement in productivity could be achieved in the short term, for the specific case of selective collection in Itajubá with the exclusion of those trips to the landfill.

**Keywords:** Municipal Solid Waste, Reverse Logistics, Geographic Information System for Transportation, Waste Recycling Materials Recycling, Gatherers.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Hierarquia de prioridades da gestão RSU.....	9
Figura 2.2 - Destino final dos resíduos sólidos no Brasil - 1989/2008 .....	10
Figura 2.3 - Comparação da composição gravimétrica dos RSU.....	12
Figura 2.4 - Geração per capita de RSU .....	14
Figura 2.5 - Logística Reversa.....	17
Figura 2.6 - Fatores que influenciam na organização dos canais reversos de pós-consumo....	21
Figura 2.7 - Proporção de material reciclado no Brasil por atividade industrial.....	27
Figura 2.8 - Modelos de <i>Containers</i> .....	30
Figura 2.9 - Estrutura geral de um SIG .....	38
Figura 2.10 - Utilização de um SIG-T no acompanhamento de tráfego.....	44
Figura 3.1- Classificação da pesquisa quantitativa.....	56
Figura 3.2 - Sequência de passos para a simulação.....	57
Figura 4.1- Mapa de Itajubá/MG .....	66
Figura 4.2 - Fluxo reverso dos materiais recicláveis.....	69
Figura 4.3 - Galpão ACIMAR e caminhão da coleta seletiva .....	70
Figura 4.4 - Sequência dos Roteiros A e B.....	71
Figura 4.5 - Rotas ACIMAR .....	72
Figura 4.6 - Simulação I: descrição dos três cenários .....	74
Figura 4.7 - Roteirização do veículo de coleta no Cenário 3 .....	76
Figura 4.8 - Divisão dos setores de coleta no Cenário 4 .....	81
Figura 4.9 - Roteirização do veículo de coleta no Setor A do Cenário 4.....	83
Figura 4.10 - Roteirização do veículo no Setor A do Cenário 5 .....	85
Figura 4.11 - Localização dos PEVs no Cenário 5.....	86
Figura 4.12 - Divisão dos setores de coleta no Cenário 6 .....	88
Figura 4.13 - Roteirização do veículo de coleta no Setor B do Cenário 6 .....	89
Figura 4.14 - Roteirização do veículo no Setor B do Cenário 7.....	91
Figura 4.15- Roteirização do veículo no Setor E do Cenário 8.....	92
Figura 4.16 - Mapa temático do volume diário [m <sup>3</sup> ] no Cenário 9.....	95
Figura 4.17 - Roteirização do veículo no Setor B do Cenário 9.....	97
Figura 4.18 - Mapa temático do volume diário [m <sup>3</sup> ] no Cenário 10.....	99
Figura 4.19 - Roteirização do veículo no Setor A do Cenário 10 .....	101



Figura 4.20 - Mapa temático do volume diário [m3] no Cenário 11.....	103
Figura 4.21 - Roteirização do veículo no Setor A do Cenário 11 .....	105
Figura 4.22 - Bairros com coleta seletiva porta-a-porta .....	107
Figura 4.23 - Roteirização em arcos no bairro Varginha no Cenário 12.....	108
Figura 4.24 - Roteirização em arcos do bairro Morro Chic no Cenário 13.....	111
Figura 4.25 - Roteirização em arcos nos bairros Cruzeiro e N. S. Fátima no Cenário 14 .....	112

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Motivação para as empresas aceitarem o retorno de produtos.....	22
Tabela 2.2 - Número de municípios brasileiros que realizam a coleta seletiva.....	26
Tabela 2.3 - Classificação das Associações conforme a eficiência produtiva e econômica ....	33
Tabela 4.1 - Gravimetria dos RSU .....	67
Tabela 4.2 - Resultados da roteirização dos Cenários 1, 2 e 3 .....	75
Tabela 4.3 - Tempo total gasto por semana na Coleta Seletiva.....	77
Tabela 4.4 - Quantidade de materiais recicláveis no Cenário 4 .....	79
Tabela 4.5 - Volume dos materias recicláveis no Cenário 4 .....	80
Tabela 4.6 - Resultados da roteirização no Cenário 4 .....	82
Tabela 4.7 - Comparação entre o sistema de coleta da ACIMAR e o Cenário 4 .....	83
Tabela 4.8 - Resultados da roteirização no Cenário 5 .....	84
Tabela 4.9 - Comparação entre os cenários do Grupo II.....	85
Tabela 4.10 - Quantidade de materiais recicláveis no Cenário 6 .....	87
Tabela 4.11 - Volume dos materiais recicláveis no Cenário 6 .....	87
Tabela 4.12 - Resultados da roteirização no Cenário 6 .....	88
Tabela 4.13 - Comparação entre o sistema de coleta da ACIMAR e o Cenário 6 .....	89
Tabela 4.14 - Resultados da roteirização no Cenário 7 .....	90
Tabela 4.15 - Comparação entre os Cenários 6 e 7 .....	91
Tabela 4.16 - Resultados da roteirização no Cenário 8 .....	92
Tabela 4.17 - Comparação entre os cenários do Grupo III.....	93
Tabela 4.18- Volume de materiais recicláveis por setor no Cenário 9.....	95
Tabela 4.19 - Volume e média de utilização semanal dos containers no Cenário 9 .....	96
Tabela 4.20 - Resultados da roteirização no Cenário 9 .....	96
Tabela 4.21 - Comparação entre o sistema de coleta da ACIMAR e o Cenário 9 .....	97
Tabela 4.22 - Volume de materiais recicláveis por setor no Cenário 10.....	99
Tabela 4.23 - Volume e taxa de utilização dos containers no Cenário 10.....	100
Tabela 4.24 - Resultados da roteirização no Cenário 10 .....	100
Tabela 4.25- Comparação entre os cenários 9 e 10 .....	101
Tabela 4.26 - Volume de materiais recicláveis por setor no Cenário 11 .....	103
Tabela 4.27 - Volume e taxa de utilização dos containers no Cenário 11.....	104
Tabela 4.28 - Resultados da roteirização no Cenário 11 .....	104

Tabela 4.29 - Comparação entre os cenários do Grupo IV .....	105
Tabela 4.30 - Resultados da roteirização em arcos no Cenário 12.....	108
Tabela 4.31 - Comparação entre o sistema de coleta da ACIMAR e o Cenário 12 .....	109
Tabela 4.32- Resultados da roteirização em arcos no Cenário 13.....	110
Tabela 4.33 - Comparação entre os cenários 12 e 13 .....	111
Tabela 4.34 - Resultados da roteirização em arcos no Cenário 14.....	112
Tabela 4.35 - Comparação entre os cenários do Grupo V.....	113
Tabela 4.36 - Comparação entre os melhores cenários por grupos.....	114

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 2.1- Comparativo entre a coleta seletiva e coleta convencional.....	25
Quadro 3.1- Dados coletados no levantamento de campo.....	59
Quadro 3.2 - Base de dados de linha .....	63

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABAL	Associação Brasileira do Alumínio
ABEAÇO	Associação Brasileira de Embalagem de Aço
ABIPET	Associação Brasileira da Indústria do PET
ABIVIDRO	Associação Técnica Brasileira de Indústrias Automáticas de Vidro
ABLV	Associação Brasileira da Indústria de Leite Longa Vida
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ACIMAR	Associação de Catadores Itajubenses de Materiais Recicláveis
ACV	Análise do Ciclo de Vida
BDG	Banco de Dados Geográficos
BRACELPA	Associação Brasileira de Papel e Celulose
CAD	<i>Computer-aided design</i>
CBO	Classificação Brasileira de Ocupações
CLT	Consolidação das leis do trabalho
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DR	Depósito Reembolsável
EPR	Responsabilidade Estendida ao Produtor
GPS	Sistema de Posicionamento Global
GRSU	Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos
IBGE	Instituto de Geografia e Estatística
INTECOOP	Incubadora Tecnológica de Cooperativas Populares
LR	Logística Reversa
MNCR	Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis
PBU	Pagar pelo uso
PET	Polietileno tereftalato
PEV	Posto de Entrega Voluntária
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PRV	Problemas de Roteirização de Veículos
PSAU	Pagamento por Serviços Ambientais Urbanos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIG-T	Sistema de Informações Geográficas para Transportes

TI            Tecnologia da Informação  
TIS          *Transportation Information System*  
UNIFEI      Universidade Federal de Itajubá

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1.	OBJETIVOS .....	4
1.2.	JUSTIFICATIVAS .....	4
1.3.	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	5
<b>2.</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>6</b>
2.1.	RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	6
2.1.1.	A Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos.....	7
2.1.2.	Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos.....	10
2.2.	LOGÍSTICA REVERSA .....	14
2.2.1.	Motivos e Estratégias de retorno .....	20
2.2.2.	Coleta Seletiva.....	24
2.3.	ASSOCIAÇÕES DE CATADORES DE MATERIAIS RECICLÁVEIS .....	30
2.3.1.	Processo Produtivo nas Associações de Catadores .....	32
2.4.	SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS .....	34
2.4.1.	Sistema de Informações Geográficas para Transportes.....	40
2.4.2.	A Roteirização de Veículos .....	44
2.4.3.	Aplicações no sistema de coleta dos Resíduos Sólidos Urbanos .....	46
2.4.4.	Localização de Atividades.....	49
2.4.5.	A Localização de Atividades na coleta dos Resíduos Sólidos Urbanos.....	51
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA DE PESQUISA .....</b>	<b>54</b>
3.1.	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	54
3.2.	MODELAGEM E SIMULAÇÃO NO SIG.....	56
3.2.1.	Etapas e procedimentos .....	59
<b>4.</b>	<b>APLICAÇÃO DA MODELAGEM E SIMULAÇÃO .....</b>	<b>66</b>
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO E DO OBJETO DE ESTUDO.....	66
4.1.2.	Descrição do Sistema de Coleta Seletiva da ACIMAR.....	69
4.2.	APLICAÇÃO DO MÉTODO .....	73
4.2.1.	Grupo I: Sistema atual e algumas alterações.....	73
4.2.2.	Grupo II: Instalação de Postos de Entrega Voluntária .....	78
4.2.3.	Grupo III: Localização e instalação de Postos de Entrega Voluntária .....	85
4.2.4.	Grupo IV: Instalação de Postos de Entrega Voluntária com variação da área de abrangência .....	93
4.2.5.	Grupo V: Coleta Seletiva porta-a-porta.....	105
4.3.	ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS.....	113
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>118</b>
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>122</b>

# 1. INTRODUÇÃO

A partir da década de 1990, diversos conceitos ambientais foram introduzidos no vocabulário popular, embora alguns deles tenham sido formulados bem antes disso. A relação sociedade-natureza passou a ser questionada e o desenvolvimento sustentável, apesar de ser considerado por muitos como utópico, passou a ser uma filosofia incluída em muitos planos e discursos governamentais e empresariais. Em 1992, com a criação da Agenda 21 (documento que sistematiza um plano de ações com o objetivo de alcançar o desenvolvimento sustentável), uma das questões levantadas e considerada fundamental quanto à preservação do meio ambiente foi o crescente descarte de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em todo o mundo.

O crescimento populacional e econômico, aliado as mudanças no estilo de vida das pessoas, contribui para o aumento da geração *per capita* desses resíduos, que se mal administrados podem causar impactos significativos ao meio ambiente e a saúde pública. O manejo dos RSU é uma tarefa complexa, em virtude da quantidade e heterogeneidade dos materiais, da forma de ocupação do solo, das limitações dos recursos humanos, financeiros e da falta de políticas públicas que regulem o setor<sup>1</sup>. A escassez de locais e a elevação das distâncias percorridas para a destinação final dos resíduos são fatores também observados. Adicionalmente, a reparação de danos, na maioria dos casos, é mais complicada tecnicamente e envolve mais recursos do que a prevenção via investimentos técnico-financeiros (BRASILEIRO e LACERDA, 2008; FONSECA, 2009; MASSUKADO e ZANTA, 2006).

Um dos intuitos da sustentabilidade é desassociar o crescimento econômico do aumento dos resíduos descartados no meio ambiente. Porém, enquanto as políticas mundiais se mostram cada vez mais a favor e aderem a essa filosofia, na prática restam dúvidas se ela tem sido efetivamente alcançada. O planejamento e a Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos (GRSU) podem variar de acordo com diferentes interesses (social, ambiental, econômico ou político) dos grupos envolvidos e foi após a década de 1990 que políticas e programas começaram efetivamente a considerar todos os eixos do pensamento sustentável (DESMOND, 2006).

Dentro deste contexto, uma estratégia que está sendo cada vez mais utilizada, tanto pelo poder público quanto em instituições privadas, é a Logística Reversa (LR). Leite (2003) a define como a área da logística empresarial que planeja, opera e controla o fluxo e as

---

<sup>1</sup> Em 2 de Agosto de 2010 foi aprovada a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, mas a mesma ainda não havia sido implementada durante a execução desta pesquisa.



informações logísticas correspondentes, do retorno dos bens de pós-venda e de pós-consumo ao ciclo produtivo, por meio dos canais de distribuição reversos, agregando-lhes valor de diversas naturezas: econômico, legal, logístico, de imagem corporativa, entre outros. No âmbito dos RSU, seu conceito é visto como uma alternativa para a destinação final dos resíduos, que por meio da coleta seletiva e da reciclagem visa ao reaproveitamento de matéria-prima e energia, a geração de emprego, de renda e a mitigação dos danos ao meio ambiente.

Especificamente no Brasil, observa-se dentro da cadeia reversa da reciclagem a participação de milhares de pessoas no processo de catação/coleta dos materiais recicláveis. Tal atividade é fonte de renda para famílias inteiras. Esses trabalhadores, conhecidos como catadores de materiais recicláveis, são um elemento fundamental da LR, sendo a base de sustentação dos índices de reciclagem dos RSU na indústria brasileira. Porém, esses catadores têm, ainda hoje, uma jornada de trabalho exaustiva, muitas vezes superior a 12h diárias, todos os dias da semana, percorrendo dezenas de quilômetros e sujeitos a intempéries.

Com o objetivo de promover a inclusão social e melhores condições para essa classe de trabalhadores, verifica-se um crescente número de leis e políticas de incentivo à criação e fortalecimento de associações/cooperativas de catadores. Fundamentada nos princípios da Economia Solidária, esse tipo de organização apresenta como modelo a posse coletiva dos meios de produção, a gestão participativa, a igualdade representativa entre os seus membros, a capacitação e o treinamento nos aspectos relacionados ao ofício, saúde e segurança no trabalho (PRADO FILHO e SOBREIRA, 2007).

Ao mesmo tempo, as atividades presentes na LR (localização de atividades, transportes, roteirização, escolha da frota dos veículos etc.) são um desafio que está inserido na rotina desses empreendimentos ao exercerem a função de coletar e transportar os resíduos, desde a fonte geradora até o depósito onde é realizada a triagem e o processamento dos materiais para a comercialização. Gonçalves (2006) ressalta que as associações/cooperativas têm enfrentando sérios problemas para se firmarem nas relações de mercado, pois geralmente não possuem capital para investimentos e não tem condições de instrumentalizar ou gerenciar adequadamente o empreendimento, de maneira a garantir um rendimento mensal satisfatório.

Especificamente, as atividades logísticas de coleta e transporte envolvem decisões que afetam diretamente a quantidade e qualidade dos materiais recicláveis, o tempo de operação, custos, além de questões relacionadas à ergonomia e impactos ambientais. Desta forma, se não realizadas a contento, uma das consequências é a introdução de custos adicionais que

podem prejudicar o interesse do mercado por estes produtos, haja vista que muitos deles são itens de baixo valor agregado.

Uma das alternativas na busca por melhorias operacionais nesta área são análises sobre a localização de atividades (Postos de Entrega Voluntária) e a roteirização de veículos (determinar o trajeto que um veículo percorrerá para completar o serviço de coleta), uma vez que o reaproveitamento dos materiais presentes nos RSU está relacionado diretamente com a eficiência dos sistemas de coleta e transporte (AYRES, 1997; REIJNDERS, 2000; KROOK, MÅRTENSSON e EKLUND, 2007). A partir deste cenário, planejar e estruturar o sistema logístico de um programa de coleta seletiva é uma atividade complexa, pois é exigido o dimensionamento de muitas variáveis, o que torna o processo muitas vezes complicado para ser realizado sem o apoio computacional. Obviamente, um planejamento inadequado resulta em perdas e ineficiência que podem comprometer os potenciais benefícios da reciclagem.

Constata-se assim a oportunidade para a utilização de ferramentas computacionais que apoiem esse processo de planejamento e tomada de decisões. Para tanto, neste trabalho é utilizado um *software* classificado como um Sistema de Informações Geográficas (SIG), que permite manipular dados referenciados geograficamente para, a partir de análises espaciais, apoiar a tomada de decisão (FARKUH NETO e LIMA, 2006). Em estudos envolvendo o manejo dos RSU, verifica-se a utilização dos SIG como ferramenta de auxílio ao dimensionamento de sistemas de coleta e transporte dos resíduos (GHOSE, DIKSHIT e SHARMA, 2006; LIU, 2009).

Castro (2006) afirma que obter informações confiáveis a respeito dos serviços de coleta dos RSU que são prestados à população é tarefa difícil. Desta forma, o uso da tecnologia de Sistema de Posicionamento Global (GPS - *Global Positioning System*) pode auxiliar no mapeamento da situação real dos setores e das rotas de coleta com boa precisão e com baixo custo, possibilitando gerar indicadores que subsidiem o planejamento da atividade. Aliada à tecnologia dos SIG, a utilização do GPS pode contribuir para a busca de soluções que proporcionem a melhoria da eficiência e da eficácia dos serviços de coleta nas cidades brasileiras.

## 1.1. OBJETIVOS

### Geral:

Utilizar um Sistema de Informações Geográficas para Transportes (SIG-T) no planejamento da logística reversa de um programa de coleta seletiva de materiais recicláveis em meio urbano, tendo como objeto de estudo uma associação de catadores de materiais recicláveis na cidade de Itajubá/MG.

### Objetivos Específicos:

- Levantar, com o auxílio do GPS, os parâmetros (tempo e distância) do sistema de coleta atual para posterior comparação com os cenários gerados no SIG;
- Modelar e simular cenários de organização do sistema de coleta seletiva valendo-se das rotinas do SIG-T, em especial as de roteirização e programação de veículos e localização de facilidades, tendo como parâmetros de comparação tempos e distâncias gastos pelo(s) caminhão(ões) de coleta e o volume de material coletado;
- Testar diferentes estratégias de coleta seletiva, entre elas a coleta dos catadores pelas ruas da cidade, a coleta porta-a-porta dos resíduos e a utilização de Postos de Entrega Voluntária (PEVs) pela população.

## 1.2. JUSTIFICATIVAS

Estudos que envolvam a temática dos resíduos têm grande relevância no cenário nacional. Segundo pesquisas da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), a geração média diária de RSU no Brasil foi de 169.659 toneladas em 2008 e a geração *per capita* diária foi de 1,08 kg. Somente a região Sudeste representa o total de 54% dos RSU coletados no país (ABRELPE, 2008). Na cidade de Itajubá, o valor da geração diária de RSU é em média de 60 toneladas. Outro dado relevante é que dentre uma amostra de 111 municípios presentes nas regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, 91% deles demonstraram arrecadar recursos abaixo de 50% das necessidades anuais demandadas pelos serviços de limpeza urbana e apenas 9% arrecadavam o suficiente ou acima de 75% desses gastos (ABRELPE, 2005).

A coleta e o transporte dos RSU são responsáveis por uma substancial porcentagem do orçamento destinado a limpeza urbana, podendo chegar a mais de 70%, dependendo da localização geográfica e do preço do combustível (DOGAN e DULEYMAN, 2003; GHOSE, DIKSHIT e SHARMA, 2006). Por ser um serviço público, o lucro não é uma prioridade; no

entanto, é uma atividade de custo elevado, cujo planejamento requer atenção, em particular no que diz respeito à roteirização dos veículos (TAVARES *et al.*, 2009). Devido ao consumo de combustível fóssil (não renovável) e a conseqüente emissão de poluentes na atmosfera, o mínimo de transporte é o desejável.

Além da relevância social, a escolha da associação de catadores da cidade de Itajubá/MG como objeto de estudo, foi influenciada pelo fato do empreendimento já possuir vínculo de pesquisa com a Universidade Federal de Itajubá. Adicionalmente, um projeto de pesquisa foi aprovado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), tendo como coordenador do projeto o orientador desta dissertação e como participante da equipe técnica a autora deste trabalho. Verificou-se também que o objeto de estudo tem características similares à encontrada na literatura sobre associações de catadores, em que geralmente seus membros possuem pouca escolaridade, buscam na reciclagem uma alternativa ao desemprego, são dependentes de políticas públicas e enfrentam dificuldades de ordem técnica, organizacional e econômica (DIAS, 2002; LIMA e OLIVEIRA, 2008; PORTO *et al.*, 2004; RIBEIRO e BESEN, 2007; RIBEIRO e CARVALHAL, 2009; SCHIOCHET e BRANDES, 2009).

### 1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho está estruturado em seis capítulos. Após esta introdução tem-se:

**Capítulo 2:** forma a base conceitual para o desenvolvimento deste trabalho. Nele são apresentados os temas Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), Logística Reversa (LR), destacando a presença de Associações de Catadores que formam a base dessa cadeia reversa da reciclagem, Sistema de Informações Geográficas, sua evolução e aplicações em Problemas de Roteirização de Veículos e Localização de Atividades com enfoque na LR e RSU.

**Capítulo 3:** traz a metodologia adotada, em que é apresentada a classificação da pesquisa e a modelagem e simulação no SIG - contendo as etapas e procedimentos seguidos, assim como uma descrição dos cenários formulados.

**Capítulo 4:** realiza-se a caracterização do objeto de estudo, a aplicação do método de pesquisa com a utilização do *software* TransCAD, a descrição dos resultados e análises conjuntas dos melhores cenários.

**Capítulo 5:** são feitas as conclusões referentes aos objetivos estabelecidos, seguidas das limitações e das sugestões para pesquisas futuras.

**Capítulo 6:** são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

*Este capítulo apresenta os autores e os temas que formam a base teórica deste trabalho: os **Resíduos Sólidos Urbanos** e a **Logística Reversa**, que por meio da **Coleta Seletiva** e da reciclagem, visam garantir uma alternativa ambientalmente correta para os resíduos. Especificamente no Brasil, as **Associações de Catadores de Materiais Recicláveis** formam a base de sustentação desta cadeia reversa da reciclagem. Na sequência, descreve-se a utilização dos **Sistemas de Informações Geográficas**, como ferramenta de apoio ao planejamento e tomada de decisão, no contexto da **Roteirização de Veículos** e da **Localização de Atividades**, aplicadas à coleta dos resíduos sólidos.*

### 2.1. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Os RSU, antes entendidos como meros subprodutos do sistema produtivo, passaram a ser encarados como responsáveis por graves problemas de degradação ambiental, cujos danos causados tornaram-se mais evidentes com o passar dos anos. O termo **resíduo**, originado do latim *residuu* - aquilo que sobra de qualquer substância - passou a ser utilizado como termo técnico e a fazer parte da linguagem habitual em substituição ao desgastado termo “lixo”. O adjetivo **sólido** foi adotado para diferenciar de outros tipos de resíduos, como líquidos e gasosos, e o termo **urbano**, compreende os resíduos sólidos gerados num aglomerado urbano, excetuados os que possuem classificações diferenciadas como resíduos industriais, de serviço de saúde, de construção civil etc. (MARQUES NETO, 2005; DEMAJOROVIC, 1995; BIDONE e POVINELLI, 1999; COUTINHO e CARVALHO, 2007).

Logarezzi (2006) distingue os conceitos “lixo” e “resíduo” por meio da diferença entre os caminhos percorridos por ambos, desde o descarte no ponto de consumo até a disposição final. Para o autor, as pessoas não geram lixo e sim resíduos que são as sobras de uma atividade qualquer. Esses materiais, ao serem descartados, mantêm seu *status* de resíduo e neles estão embutidos os valores culturais, sociais, econômicos e ambientais. Porém, em função da falta de condições técnicas, econômicas e culturais de uma determinada comunidade eles podem não ser reciclados e, dessa forma, ser descartados como lixo. Reforçando essa ideia, Gonçalves (2006) afirma que todo resíduo reciclável pode tornar-se lixo, no entanto, nem tudo o que compõe o lixo pode vir a ser reciclado na prática comercial. Além das potencialidades físicas e químicas dos materiais descartados, o contexto social pode torná-lo lixo ou resíduo.

No Brasil, o serviço de limpeza urbana, que inclui a coleta dos RSU, foi iniciado oficialmente em 25 de novembro de 1880, na cidade de São Sebastião do Rio de Janeiro,

então capital do Império. Nesse dia, o imperador D. Pedro II assinou o Decreto nº 3024, aprovando o contrato de "limpeza e irrigação" da cidade, que foi executado por Aleixo Gary e, mais tarde, por Luciano Francisco Gary, de cujo sobrenome origina-se a palavra gari, que hoje representa os trabalhadores da limpeza urbana em muitas cidades brasileiras (MONTEIRO e ZVEIBIL, 2001).

Existe uma diferença entre os conceitos de gestão e gerenciamento dos RSU. Para elucidar esta questão utilizam-se os conceitos descritos na Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010):

- Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos (GRSU): conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável.
- Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos: - conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Conclui-se que a gestão dos RSU compreende as estratégias e políticas de ações, no nível mais alto da Administração Municipal, relativas ao sistema de limpeza pública, visando preservar a saúde pública, proteger e melhorar a qualidade do ambiente; enquanto que o conceito de gerenciamento refere-se aos aspectos técnicos e operacionais da questão. Neste trabalho serão abordadas questões relativas tanto à gestão dos RSU (como a localização de atividades, pois é considerada uma decisão estratégica apresentando consequências a longo prazo), quanto ao gerenciamento dos resíduos (como a roteirização dos veículos de coleta que possui um enfoque mais operacional). Ressalta-se que muitas vezes esses conceitos de gestão e gerenciamento são confundidos, não existindo nestes casos a separação formal de seus significados.

### **2.1.1. A Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos**

Considerada um dos setores do saneamento básico, a limpeza urbana é um tema polêmico, complexo e frequentemente em debate. No passado, a GRSU limitava-se a coleta dos materiais e sua disposição era realizada de forma desordenada. Posteriormente, inicia-se a associação dos RSU com aspectos relacionados à poluição do meio ambiente e a saúde pública. Um considerável aumento da descartabilidade foi verificado após a Segunda Guerra

Mundial, devido principalmente, ao crescente desenvolvimento tecnológico e a redução no ciclo de vida dos produtos, que ocasiona, com o passar do tempo, a diminuição dos preços de venda dos produtos e inviabiliza, em muitos casos, atividades voltadas ao conserto/manutenção de equipamentos e peças. Feldmann (2003) afirma existir um componente cultural extremamente complexo que se manifesta na “universalização” de estilos de vida, caracterizada pela fixação de certos padrões sociais e aspirações de consumo, no mínimo, insustentáveis. O autor pondera que o problema não é o consumo em si, mas os seus padrões e efeitos no que se refere à conciliação de suas pressões sobre o meio ambiente e o atendimento às necessidades básicas da humanidade.

A GRSU tem passado por significativas mudanças. Os modelos de gestão entendidos como conjunto de concepções política, estratégica e administrativa que operacionalizam e orientam a organização do setor em um determinado período, na década de 1970 eram simples e limitados a resolver questões operacionais isoladas. Não havia uma visão holística do sistema. Os modelos desenvolvidos na década de 1980 ampliaram os limites anteriores criando relacionamento entre as atividades, ao invés de olhar para cada uma de forma isolada. O foco principal nesta época era a redução de custos. Não levavam em conta a minimização ou a prevenção da geração, apenas o tratamento dos resíduos gerados. Concomitantemente, o desenvolvimento da computação permitiu a realização de análises mais sofisticadas. Após a década de 1990, as políticas de GRSU tornaram-se mais complexas, os fatores considerados também aumentaram, incluindo aspectos econômicos (análise de custo-benefício), ambientais (foco central) e tecnológicos, resultando em modelos com análises mais aprofundadas e integradas (MORRISSEY e BROWNE, 2004; SU *et al.*, 2007).

Morrissey e Browne (2004), após realizarem uma análise na literatura, dividiram os modelos de gestão de RSU em três categorias: os que são baseados na análise custo-benefício; os que analisam o ciclo de vida dos produtos e os que utilizam técnicas de análises multicritério para a tomada de decisões. Para os autores, os modelos estudados têm limitações e nenhum deles considera por completo o ciclo de gestão de resíduos, ou seja, desde a prevenção da geração até a disposição final. A maior parte se preocupava apenas com o refinamento da técnica de tomada de decisão ou realizam comparações sob a ótica ambiental das opções de tratamento dos resíduos, como: reciclagem, incineração e disposição final. Uma lacuna presente é o não envolvimento da população de maneira significativa. Com isso nenhum desses sistemas pode ser considerado totalmente sustentável.

Para Su *et al.* (2007), a finalidade principal da inclusão dos fatores sociais para a gestão e tomada de decisão no âmbito dos RSU tem duas vertentes: (1) respeitar a opinião pública e a visão da sociedade e (2) diminuir os impactos sociais na implementação de uma nova política. Segundo os autores são necessárias análises mais detalhadas dos impactos de uma política, a fim de compreender os graus de resistências a uma efetiva implementação e riscos de insucesso. Outra questão relevante neste contexto é a dificuldade que as administrações municipais encontram para estruturar e gerenciar os programas e serviços relacionados à limpeza pública, principalmente devido à falta de dados ou ao desconhecimento de melhores práticas para otimizar os serviços, incluindo a coleta e a destinação final dos resíduos sólidos urbanos (BRAGA e RAMOS, 2006).

Na Figura 2.1 é apresentada uma estratégia de gestão, em forma de uma hierarquia preferencial, comumente recomendada para os RSU (McDOUGALL *et al.*, 2001). A opção redução é colocada no topo dessa hierarquia, sendo considerada uma precursora para uma gestão sustentável dos RSU. Na sequência, o reuso é indicado após a geração dos resíduos com o intuito de prolongar o ciclo de vida dos produtos. A disposição final em aterros aconteceria em último caso (AHLUWALIA E NEMA, 2007). A ordenação de opções como reciclagem e incineração é muitas vezes discutida, como por exemplo, o transporte de resíduos para um aterro quando comparado à necessidade de transportes para outros tipos de tratamentos podem ter um menor impacto no meio ambiente (MOBERG *et al.*, 2005; FINNVEDEN *et al.*, 2005, McDOUGALL *et al.*, 2001).

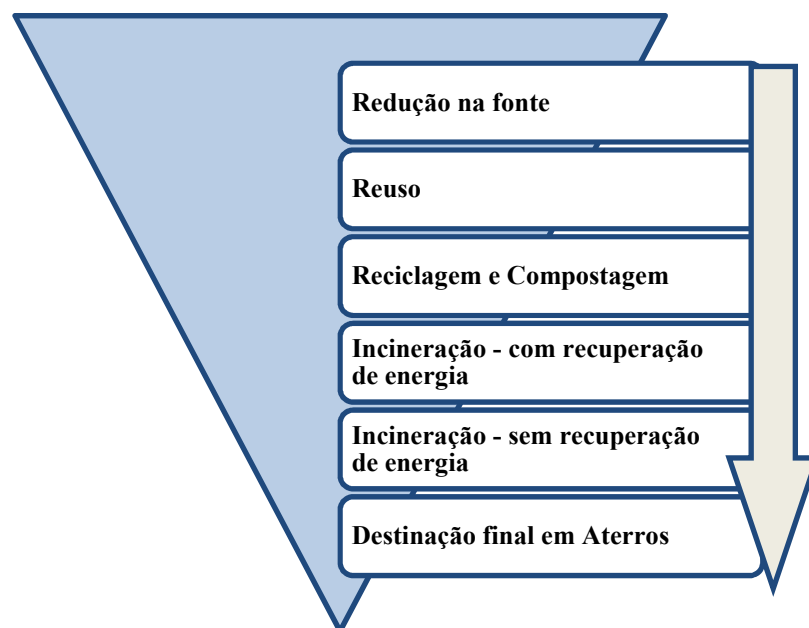


Figura 2.1 - Hierarquia de prioridades da gestão RSU  
Fonte: Adaptado de McDougall *et al.* (2001)



Uma crítica a esse modelo de hierarquização é que um uso rígido dessas prioridades pode gerar sérias limitações e comprometer a sustentabilidade do sistema de GRSU. Para McDougall *et al.* (2001), o modelo não aborda os custos; desta forma, não poderia ajudar a avaliar a viabilidade econômica do sistema e dificilmente indicaria a opção de gestão mais sustentável para os diversos tipos de materiais e particularidades dos RSU. Para os autores, mais do que uma hierarquia de opções, é preciso ter uma visão holística que reconheça que todas as opções têm um papel a desempenhar e precisam ser avaliadas com o objetivo de otimizar o sistema como um todo. Os autores ainda enfatizam que o ponto nevrálgico deve ser a prevenção da geração de resíduos, por meio da mudança de hábitos (cultura) de produção e consumo.

### 2.1.2. Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos

A Figura 2.2 apresenta os resultados de uma pesquisa de saneamento feito pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), quanto à destinação final dos RSU no Brasil entre os anos de 1989 e 2008.

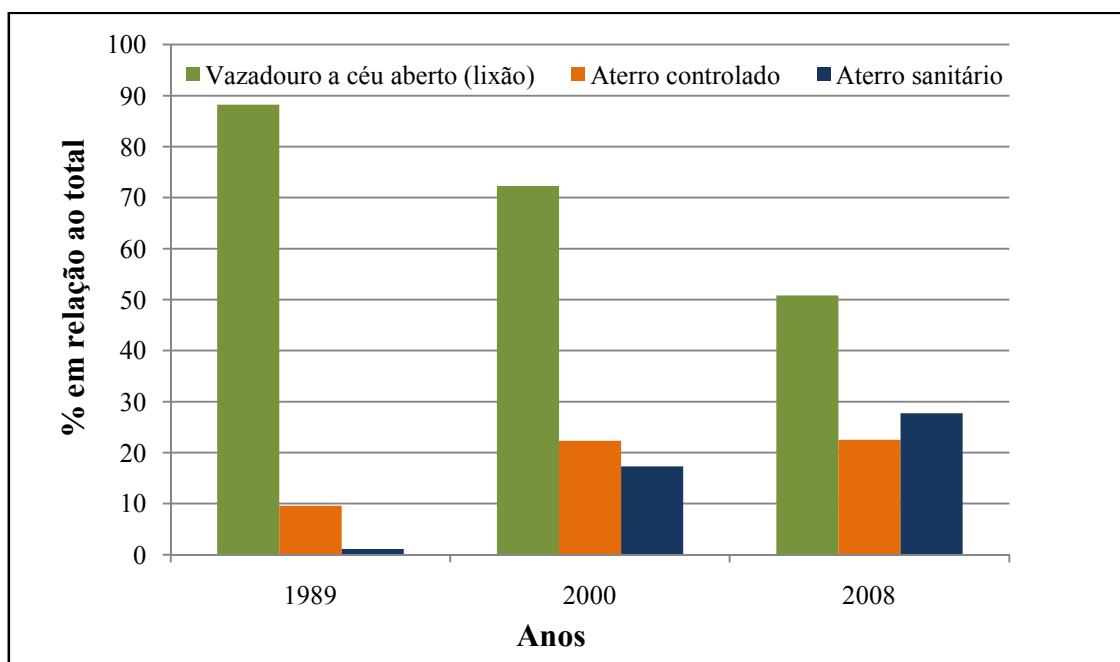


Figura 2.2 - Destino final dos resíduos sólidos no Brasil - 1989/2008  
Fonte: IBGE (2008)

Pode-se observar que houve avanços quanto à disposição final em aterros sanitários (melhor opção ambientalmente) em detrimento ao lixão (menos indicado), mas infelizmente ainda existem enormes quantidades de resíduos sendo dispostos de maneira não apropriada. De modo geral, tendo em vista o alto custo da incineração e do aterro sanitário (tanto para a

operacionalização como para o investimento inicial) verifica-se que a utilização destes é mais comum nos países desenvolvidos. Já os lixões, que apresentam um custo bem menor, são mais utilizados nos países em desenvolvimento e mais pobres.

Países da União Europeia, Estados Unidos e Japão possuem já há algum tempo políticas definidas para a área de resíduos sólidos, definindo as instituições responsáveis por colocar em prática seus objetivos e os meios para atingí-los (LACERDA, 2003). No Brasil, foi na década de 1980 que a temática ambiental assumiu o *status* de política, com a criação da Política Nacional de Meio Ambiente. Porém, foi somente em agosto de 2010 que foi aprovada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotadas pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos. Na legislação brasileira não havia uma norma única, de caráter nacional, que obrigasse os estados e municípios a adotarem um determinado modelo de gestão, mas sim editavam-se normas gerais como já vinham fazendo alguns Estados e Municípios para fornecer as diretrizes para os órgãos da Administração Pública a respeito do assunto.

Muitas vezes o que ainda acontece no Brasil é pensar na GRSU apenas como uma responsabilidade dos órgãos governamentais; no entanto é dever de cada cidadão zelar pelo meio ambiente e participar efetivamente desse processo. Para tanto, a confiabilidade por parte da sociedade é imprescindível: a população precisa estar confiante, por exemplo, de que todos os materiais que estão sendo separados seletivamente nas suas casas terão um tratamento e destinação adequada. Caso contrário, a credibilidade do sistema é reduzida e o apoio da população cairá. Por outro lado, em termos de gestão pública, uma das grandes limitações é que as políticas de governo são concebidas para um horizonte de curto prazo, quando deveriam ser planejadas a longo prazo, ou seja, pensadas para várias gerações.

Uma forma de operacionalizar o conceito de sustentabilidade é por meio da utilização de indicadores como um instrumento para auxiliar os gestores públicos no processo decisório. Dentre os indicadores relacionados aos RSU, os mais utilizados são aqueles que medem a quantidade gerada de resíduos/habitante/tempo e o que se refere à recuperação de resíduos municipais (taxa de reciclagem, reutilização e/ou compostagem). Porém, Polaz e Teixeira (2009) afirmam que apenas esses indicadores não são suficientes para permitir análises mais consistentes e integradas. Assim, realizam uma proposição de indicadores de sustentabilidade para a GRSU na cidade de São Carlos/SP, sob a perspectiva de cinco dimensões: ambiental,

econômica, social, política e cultural. O conjunto final compreendeu a sugestão de criação de 15 indicadores, considerando o papel do Estado na temática em questão, em que o indicador mais favorável à sustentabilidade é obtido quando existem políticas públicas com alto envolvimento das pessoas que atuam com RSU, enquanto a sua inexistência impõe a condição mais desfavorável.

Para Lacerda (2003), conhecer a composição dos resíduos, tanto do ponto de vista qualitativo quanto do quantitativo, é um dos principais fatores que possibilita um adequado equacionamento da coleta, transporte, tratamento e destinação final, além de permitir equacionar o potencial de reciclagem. Fatores como o clima da região, costumes, práticas econômicas e sociais, nível educacional e número de habitantes podem modificar características dos resíduos produzidos em uma região. Na Figura 2.3 é apresentada a média da composição gravimétrica da disposição final dos RSU<sup>2</sup> no Brasil, em outros países em desenvolvimento e em países desenvolvidos. Os dados coletados referem-se ao período de 2003 a 2009. Uma característica presente na composição gravimétrica dos RSU é que países mais ricos apresentam menores quantidades de resíduos orgânicos (principalmente restos alimentares) e maior geração de papel/papelão, quando comparados com países em desenvolvimento.

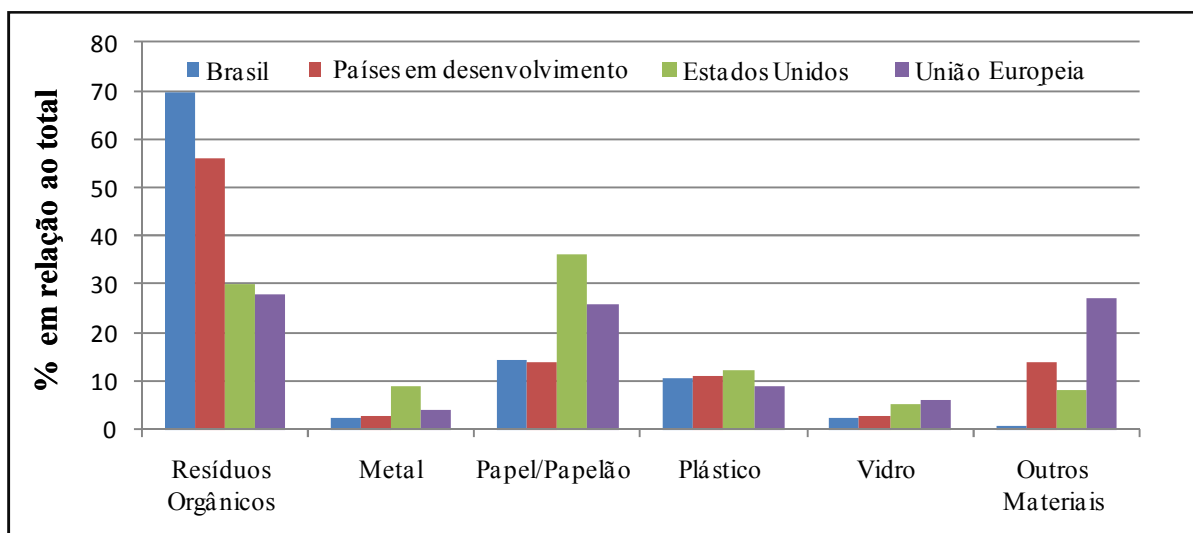


Figura 2.3 - Comparação da composição gravimétrica dos RSU

Fonte: Carleial e Cruz (2010); Troschinetz e Mihelcic (2009)

Neste caso a cultura alimentar é determinante. Lugares onde há mais consumo de produtos enlatados, industrializados e existe o hábito de fazer as refeições fora do domicílio (como em restaurantes, lanchonetes, bares etc.) faz com que haja uma redução na geração de

<sup>2</sup> Porcentagem da participação de cada fração dos resíduos em relação ao total gerado.

resíduos orgânicos domiciliares. Ao mesmo tempo, verifica-se nos países em desenvolvimento, como o Brasil, uma quantidade significativa de resíduos orgânicos que, conseqüentemente, podem resultar em desperdícios de alimentos. Porém, ressalta-se que por meio do tratamento adequado, tais resíduos podem ser fonte de energia e proporcionar a obtenção de créditos de carbono. Em relação à categoria "outros materiais", que inclui cinzas, pedras, cerâmicas, rejeitos de higiene pessoal, bem como outros materiais, segundo a explanação apresentada pelos autores, o tipo de fornecimento de combustível utilizado no mercado interno influencia na geração desses resíduos: madeira e carvão resultam em grande parte de matéria inerte, enquanto que o gás tem quantidades insignificantes de resíduos.

A Figura 2.4 apresenta um comparativo entre o Brasil e diversos países em relação às médias da geração *per capita* diária de RSU. Conforme o gráfico, observa-se uma variação de acordo com o poder aquisitivo da população e com seus padrões de consumo, ou seja, a maior geração de resíduos tende a ocorrer nos grupos com maior renda. Assim, cidades de países ricos tendem a contribuir em níveis mais elevados para a geração de resíduos *per capita*. Um relatório do Banco Mundial sobre o Desenvolvimento revela que o incremento de 1% na população corresponde a um aumento de 1,04% na geração de lixo, e no caso de aumento de 1% da renda *per capita* a geração de resíduos será de 0,34% maior (CERQUEIRA, 1999).

Na literatura encontram-se diversas outras formas de classificação e caracterização dos RSU, como por exemplo: conforme a fonte geradora (domiciliar, serviço de saúde, construção civil etc.); a composição física (seco e úmido); a periculosidade (perigosos e não perigosos); o grau de degradabilidade (facilmente degradáveis, moderadamente degradáveis, dificilmente degradáveis, não degradáveis); dentre outras que podem ser consultadas nos trabalhos de Bidone e Povinelli (1999); Brasil (2004); Brasil (2009); D'Almeida e Vilhena (2000); James (1997); Monteiro e Zveibil (2001). Grimberg (2005) sintetiza a problemática dos RSU em pelo menos três desafios principais: (1) a produção excessiva de resíduos; (2) altos gastos públicos com sistemas convencionais de gerenciamento de resíduos; e (3) ausência de políticas públicas que avancem na direção da recuperação plena dos resíduos, mediante a logística reversa para o reaproveitamento e a reciclagem, promovendo melhores condições de trabalho e renda para os catadores.

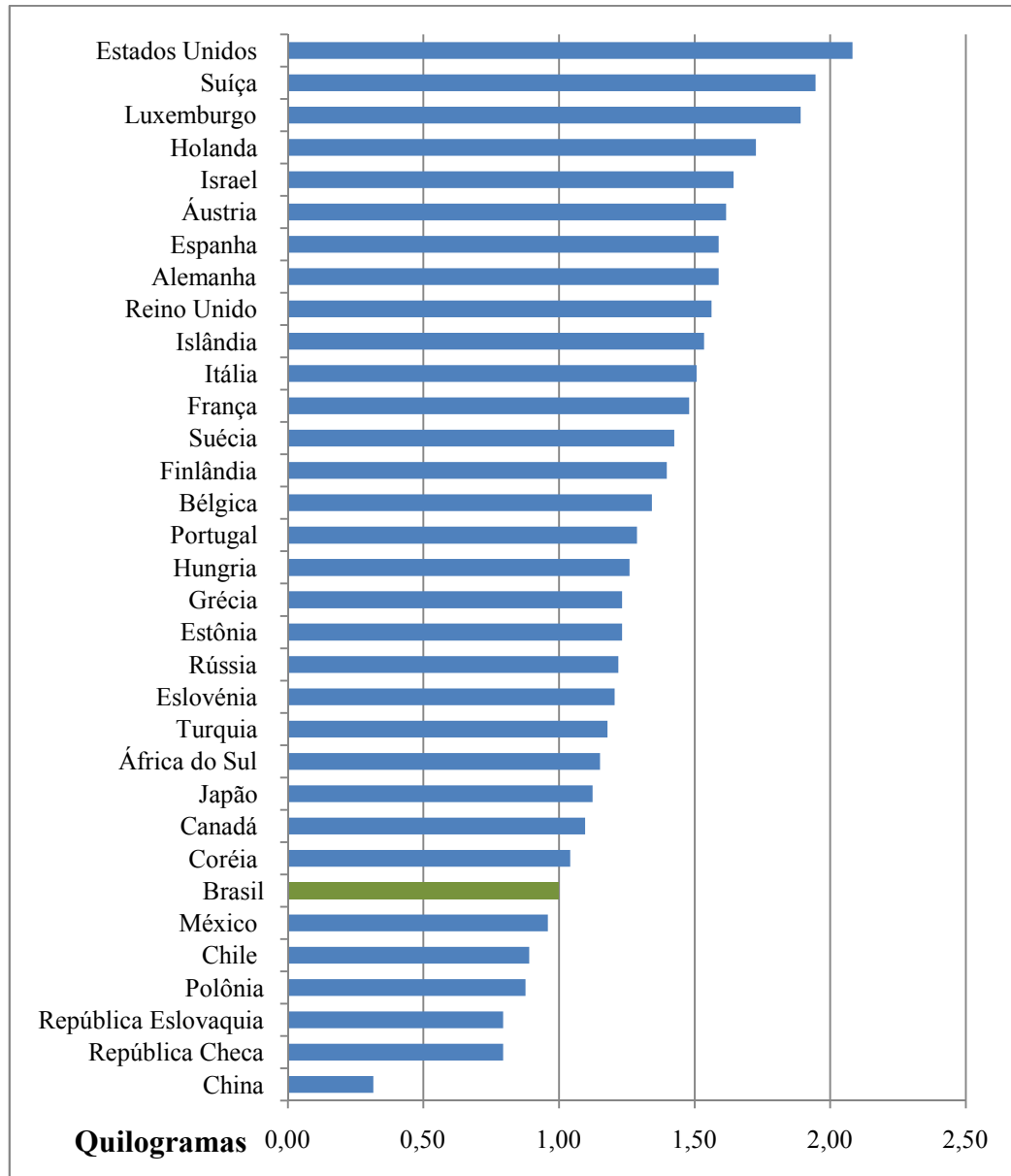


Figura 2.4 - Geração per capita de RSU

Fonte: OECD (2010); ABRELPE (2008)

## 2.2. LOGÍSTICA REVERSA

De Brito e Dekker (2004) afirmam ser difícil datar o surgimento da expressão “Logística Reversa” com precisão, mas o seu conceito vem sendo explorado desde a década de 1970, quando as questões dos fluxos reversos estavam relacionadas mais especificamente com reciclagem e aspectos ambientais. No entanto, o surgimento de novas definições e áreas de aplicações, revela que o conceito ainda está em construção, face às novas possibilidades de negócios e de pesquisas. Chaves e Batalha (2006) afirmam que foi a partir da década de 1990 que as empresas passaram a ver a LR como uma fonte importante de redução de perdas e que, em países onde os conceitos e ferramentas clássicas de logística já eram mais disseminados,

como nos Estados Unidos e Europa, os conceitos de LR passaram a ser utilizadas com maior intensidade.

Semelhante à logística direta, atividades relacionadas ao transporte, à armazenagem, à distribuição e ao gerenciamento de estoques estão presentes na LR (LEITE, 2003; MINNER, 2001; CHOUINARD, D'AMOURS e AÏT-KADI, 2005; SHIH, 2001; PRAHINSKI e KOCABASOGLU, 2006). Tibben-Lembke e Rogers (2002) definem a LR como o movimento de produtos ou materiais na direção oposta à da logística tradicional (direta) com o propósito de criar e recapturar valor, ou para que seja feita a sua disposição adequada. Carter e Ellram (1998) adotaram uma definição voltada mais para o ramo empresarial, em que a LR é o processo pelo qual as empresas podem se tornar mais eficientes em termos ambientais através da reciclagem, reutilização e redução da quantidade dos materiais utilizados.

Xanthopoulos e Iakovou (2009) citam que a LR é uma disciplina integrada e sistemática da cadeia de suprimentos e tem como meta promover o desenvolvimento sustentável, o manejo dos produtos em fim de vida de forma eficiente, lucrativa e em conformidade com as regulamentações ambientais. Já para Srivastava (2007), a LR integra um conceito mais amplo denominado “Gestão Verde da Cadeia de Suprimentos” (*Green Supply Chain Management*) que tem suas raízes na gestão ambiental inserida na cadeia de suprimentos e visa discutir a influência e conexão entre ambas as áreas. Conforme o autor, a LR é incentivada pela crescente deterioração do meio ambiente, como a diminuição de fontes de matérias-primas, esgotamento da vida útil dos aterros e aumento dos níveis de poluição.

Leite (2003) define a LR como a área da logística empresarial que planeja, opera e controla o fluxo e as informações logísticas correspondentes, do retorno dos bens de pós-venda e de pós-consumo ao ciclo produtivo, por meio dos canais de distribuição reversos, agregando-lhes valor de diversas naturezas: econômico, legal, logístico, de imagem corporativa, entre outros. Conforme a definição, o autor divide a LR em duas categorias:

**Pós-consumo:** constituídos pela parcela de produtos e materiais originados do descarte depois de finalizada sua utilidade original e que retornam ao ciclo produtivo.

Distinguem-se dois subsistemas:

- Reciclagem - canal reverso de revalorização, em que os materiais constituintes dos produtos descartados são extraídos industrialmente, transformando-se em matérias-primas que serão reincorporadas à fabricação de novos produtos. Um exemplo de destaque deste canal reverso é a reciclagem do alumínio, que possibilita uma economia considerável de energia elétrica. Do ponto de vista

tecnológico, existe a possibilidade de ser refundido inúmeras vezes sem alterar suas qualidades principais. O fator logístico contribui favoravelmente devido ao elevado valor intrínseco do material e seu transporte pode ser realizado sem grandes restrições.

- Reuso - diz respeito à reutilização de produtos ou materiais, cuja vida útil estende-se por vários anos. Nos casos em que ainda apresentam condições de utilização podem destinar-se ao mercado de segunda mão, sendo comercializados diversas vezes até atingir seu fim de vida útil. Exemplos de canais reversos de reuso são as vendas de materiais e equipamentos usados, como: máquinas, sobras industriais de processos ou subprodutos, equipamentos, móveis, veículos etc. Trata-se de um canal reverso de grande importância, com características econômicas e logísticas de realce, pelo volume de comércio envolvido.

**Pós-venda:** produtos com pouco ou nenhum uso que retornam à cadeia de distribuição por diversos motivos: devoluções por problemas de garantia, avarias no transporte, excesso de estoques, prazo de validade expirado, erros de expedição do pedido, entre outros. A caracterização da LR de pós-venda acontece quando há a reutilização, a revenda como produto de segunda linha e/ou a reciclagem. Se bem gerenciado, nas empresas constitui uma fonte de vantagem competitiva por meio da diferenciação no atendimento, que agrega valor perceptível aos clientes. Tal procedimento é muito significativo quando a organização trabalha com venda pela internet, como *e-commerce*.

A Figura 2.5 demonstra como ocorre a LR dos produtos/materiais pós-consumo (linhas pontilhadas) e sua reintrodução ao ciclo produtivo (logística direta). Conforme a figura, o fluxo reverso origina-se no consumidor final e pode tanto retornar via coleta seletiva realizada pelos catadores (fluxo predominante) ou por entrega no próprio local da compra como acontece em alguns estabelecimentos que vendem aparelhos celulares), onde há o recolhimento de aparelhos deixados pelos clientes que, posteriormente, são enviados para a indústria recicladora e transformados em matéria-prima. A LR também pode ocorrer em outros elos da cadeia, como no processo produtivo, em que, por exemplo, rejeitos que seriam descartados podem ser utilizados como insumos para outras indústrias.

Em outra classificação, Rogers e Tibben-Lembke (2001) dividem a LR em duas áreas gerais: Logística Reversa de Produto - produtos que são introduzidos no fluxo reverso por diversos motivos, como por exemplo, para remanufatura, consertos ou porque o cliente devolveu o produto logo após a compra; Logística Reversa de Embalagem - flui no sentido

reverso devido ao potencial de reutilização, reciclagem ou porque legislações restringem sua disposição final em aterros, como exemplo as embalagens de agrotóxicos que podem contaminar os solos.

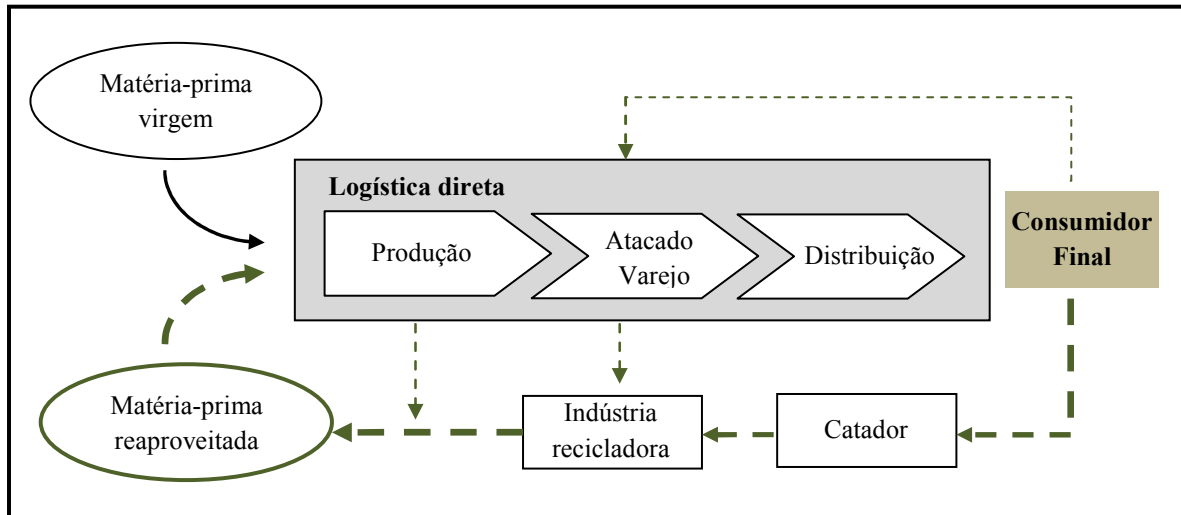


Figura 2.5 - Logística Reversa  
Fonte: Adaptado de Lacerda (2002)

Já Liva, Pontelo e Oliveira (2003) distinguem três categorias dentro da LR: além da Logística Reversa pós-venda e pós-consumo (classificação feita por Leite, 2003) apresentam a Logística Reversa de Embalagem. Apesar de enquadrar-se na LR de pós-venda ou pós-consumo, sua importância faz com que seja classificada numa categoria separada, pois com a distribuição para mercados cada vez mais afastados verifica-se um incremento com gastos de embalagem e no aumento do total de resíduos descartados no meio ambiente. Outra divisão encontrada dentro da LR é pela característica dos fluxos, que podem ser do tipo: ciclo aberto, casos em que os produtos retornados, ao chegar ao final da cadeia reversa, não voltam necessariamente ou diretamente para serem convertidos no mesmo produto; ou ciclo fechado, nesses casos é possível uma maior integração/relação entre o canal direto e o reverso, o material descartado pode retornar na forma de um produto igual ou similar ao original, servindo de insumo direto na cadeia produtiva (FLEISCHMANN *et al.*, 2000, LEITE, 2003).

Na literatura também são encontrados conceitos como Logística Verde, Logística Ambiental e Logística Ecológica, que às vezes geram dúvidas em relação ao seu escopo quando defrontados com o termo LR. Segundo Pires (2007), os três primeiros termos podem ser entendidos como o estudo na busca por redução do impacto ambiental e da preservação do meio ambiente. Eles tratam de questões que estão relacionadas tanto ao fluxo direto quanto ao reverso, ou seja, engloba estudos sobre a sustentabilidade em toda a cadeia de suprimentos, não se restringindo somente ao fluxo reverso. Já Dornier *et al.* (2000) afirmam que a definição



de logística deveria englobar todas as formas de movimentos de produtos e informações, inclusive o conceito de LR. Essa colocação ampliaria o escopo de atuação da área, passando a incluir não só fluxos diretos tradicionalmente considerados, mas também os fluxos de retorno de peças, embalagens e seus acessórios, produtos vendidos e devolvidos e de produtos usados/consumidos a serem reciclados.

Outro ponto que gera discussões diz respeito à caracterização de quando ocorre ou não o fluxo reverso. A fronteira entre logística direta e reversa não é estritamente definida devido ao amplo campo de atuação da LR e de seus diversificados atores. Os conceitos de matéria-prima e de cliente final podem ser relativizados conforme as cadeias produtivas (ADLMAIER e SELBITTO, 2007). Como exemplo pode citar-se o caso de sucateiros, que para alguns teóricos, fazem parte do processo de LR. No entanto, para outros, suas vendas constituem um canal logístico direto já que sua matéria-prima essencial é a sucata. Adicionalmente, o conceito de LR também pode variar de acordo com a visão de diferentes segmentos. Por exemplo, empresas distribuidoras podem denominar LR como o retorno de mercadorias vendidas; já as indústrias podem conceituá-la com o retorno de produtos com defeitos.

Outra discussão diz respeito ao termo “Logística para Reciclagem”. Para Souza (2008), a grande diferença entre a Logística Reversa e a Logística para Reciclagem é que a LR sempre é de responsabilidade da empresa que fabricou o produto que está sendo recolhido e, na maioria das vezes, isto traz um retorno financeiro negativo ou, se positivo, de menor significância. Enquanto que a Logística para Reciclagem pode ser realizada por qualquer empresa e o objetivo é obter lucro. As empresas só escolhem os componentes que interessem a sua linha de produção, desprezando os componentes que não terão utilidade para elas, por exemplo: as metalúrgicas só recolhem as partes metálicas de um veículo descartado, desprezando pneus, estofamentos, lubrificantes, plásticos etc. Na LR é normal que a empresa tenha que recolher o produto ou o equipamento de forma completa, inclusive os componentes que lhes serão inservíveis, por exemplo: mesmo que possa aproveitar partes dos invólucros das pilhas e baterias, terá de captar a peça completa, inclusive a parte não metálica, cuja recuperação nem sempre é vantajosa.

Um dos fatores que pode ser a causa dos divergentes pensamentos e definições sobre a LR, é que seus conceitos e atividades foram intensificados principalmente a partir da década de 1990. Assim, alguns estudos que apresentaram publicações referentes a revisões na literatura, com o tema LR, são descritos a seguir. Conforme os trabalhos, nos últimos dez anos houve um crescente número de publicações sobre o tema.

- Rubio, Chamorro e Miranda (2008) realizaram uma busca em 26 revistas acadêmicas, sendo a metade editada na Europa e metade nos Estados Unidos. O estudo se constituiu de um total de 186 artigos publicados entre 1995 e 2005, sendo que 68% estão presentes em revistas europeias e 32% em revistas norte-americanas. O número de artigos no período passou de quatro artigos publicados no ano 1995 para 35 em 2005, evidenciando o expressivo crescimento de interesse do estudo da LR;
- Pokharel e Mutha (2009), em sua pesquisa na literatura, analisaram livros, anais de congressos/conferências e revistas científicas, obtidos em fontes, como: o *Google Scholar*, *ScienceDirect*, *EmeraldInsight* e *Inderscience*. No total foram encontrados 7 livros, 6 congressos e 151 revistas científicas com publicações referentes à LR. O resultado mostra que as publicações sobre o tema estão aumentando, especialmente após 2005, em que apenas 14 artigos foram publicados entre 1971 e 1995; 99 artigos entre 1996 e 2005 e 51 artigos foram publicados a partir de 2006. Dentre outras direções apontadas para o futuro dos estudos em LR, um dos pontos destacados foi a falta de modelos e soluções para o projeto da rede de transporte na coleta dos produtos retornados;
- Mahadevan e Deb (2007), ao realizar uma pesquisa bibliográfica sobre o tema LR, apontam 144 artigos publicados em 27 periódicos internacionais sobre LR entre 1996 e 2006. Os autores focaram nesse período por duas razões: durante esses anos diversas legislações foram publicadas no que tange a responsabilidade do produtor sobre seu produto após seu fim de vida e também devido ao crescimento de pesquisas e publicações referentes ao tema. Os *journals* escolhidos para a pesquisa também são oriundos da União Europeia e Estados Unidos. Mais da metade das publicações encontradas são advindas de periódicos europeus, o que reflete os altos níveis de interesse da comunidade na área da LR.
- No Brasil, Chaves e Alcântara (2009), constataram que foram publicados 18 artigos em periódicos nacionalmente reconhecidos entre 2000 e 2008. Também foram pesquisadas publicações em eventos (congressos) de relevância no país na área de Engenharia de Produção nos últimos anos. Todos os artigos que continham os termos LR, canais ou fluxos reversos, no título ou palavras-chave foram contabilizados. No total foram encontradas 85 publicações ente os anos de 2005 e 2008, sendo que a maior parte delas, 38%, foi publicada no ano de 2008.

De acordo com os conceitos e classificações descritos neste tópico, a presente pesquisa terá como alvo as embalagens e produtos pós-consumo, retornados e oriundos dos RSU, sem

distinção entre ciclo aberto ou fechado. Embora existam divergências quanto ao conceito de LR, considera-se neste trabalho que a atividade de reintroduzir ao ciclo produtivo produtos advindos do ponto de consumo, independentemente se irá ou não retornar para o ponto de origem (o que dificilmente acontece no caso dos resíduos sólidos), caracteriza a LR.

### **2.2.1. Motivos e Estratégias de retorno**

As estratégias de implantação de programas de LR apresentam objetivos diversos. A natureza do produto, seu valor agregado, o grau de periculosidade ambiental, legislações, tecnologias disponíveis, entre outros, podem gerar diferentes níveis de disponibilização de recursos à LR. Embora a quantidade de publicações acadêmicas e especializadas tenha marcado o crescimento da LR como objeto de estudo, é observada, por diversos autores, a carência de dados específicos sobre o impacto econômico de tal atividade, as relações entre os diversos elos das cadeias reversas, os fatores que diferenciam suas atividades entre os setores empresariais, a influência do valor agregado dos produtos retornados, entre outras características (LEITE, BRITO e SILVA, 2008). Sinnecker (2007) afirma que a LR é um processo complementar à logística direta por finalizar o ciclo de vida dos produtos. Sendo assim uma série de etapas que envolvem o desenvolvimento do produto, a obtenção de matérias-primas e insumos, o processo produtivo, o consumo e a disposição final. Bowersox e Closs (2001) também corroboram essa afirmação ao apresentarem a ideia de “apoio ao ciclo de vida” dos produtos como um dos objetivos operacionais da logística moderna, referindo-se ao prolongamento da logística para além do fluxo direto dos materiais, considerando também os fluxos reversos de produtos em geral.

A Análise do Ciclo de Vida (ACV) permite calcular os impactos ambientais desde a produção de matéria-prima até o descarte final dos produtos (AL-SALEM e LETTIERI, 2009). A relação entre o ACV e a LR está em estudar alternativas para o descarte ou o reaproveitamento de peças e partes do produto ao final do seu ciclo de vida (TIBBEN-LEMBKE, 2002). No processo da LR, os produtos passam por uma etapa de reciclagem e voltam novamente à cadeia até ser finalmente descartados, percorrendo o ciclo de vida do produto. ACV tem sido utilizada em vários estudos como uma ferramenta para avaliar as diversas opções de manejo dos RSU (reciclagem, compostagem, aterro sanitário, incineração etc.).

Uma questão que merece destaque nos estudos sobre a ACV diz respeito à importância dos transportes, que se mal projetado pode resultar em um maior nível de consumo de

combustível e no aumento da emissão de gases tóxicos no meio ambiente. Quando comparado com o consumo demandado para a utilização de matérias-primas virgens, dependendo das ineficiências do sistema de transporte dos materiais usados, sua utilização pode ser mais prejudicial ao meio ambiente. Isto é muito mais provável que aconteça se o produto a ser fabricado não requeira uma grande quantidade de energia durante seu processo de produção com matérias-primas virgens (GEORGAKELLOS, 2006; FINNVEDEN *et al.*, 2005). Por essa razão deve-se planejar e desenvolver estratégias de modo a proporcionar ganhos ambientais, e uma das questões a serem planejadas diz respeito ao transporte.

Leite (2003) apresenta as condições essenciais para a implementação da LR, que por meio de um modelo de dependência entre fatores, representa os níveis de organização e dinamismo dos canais de distribuição reversos. Conforme a Figura 2.6, os fatores necessários (econômicos, tecnológicos e logísticos) garantem interesses satisfatórios e níveis mais altos de organização nas cadeias reversas. Já os fatores modificadores (ecológicos e legislativos) alteram as condições naturais do mercado, nas diversas etapas reversas, permitindo que novas condições de equilíbrio sejam estabelecidas. A remuneração em todas as fases de retorno, por exemplo, é uma condição essencial em uma cadeia de suprimentos, pois esta somente será eficiente se todos seus atores, formais ou não, tiver rentabilidade.

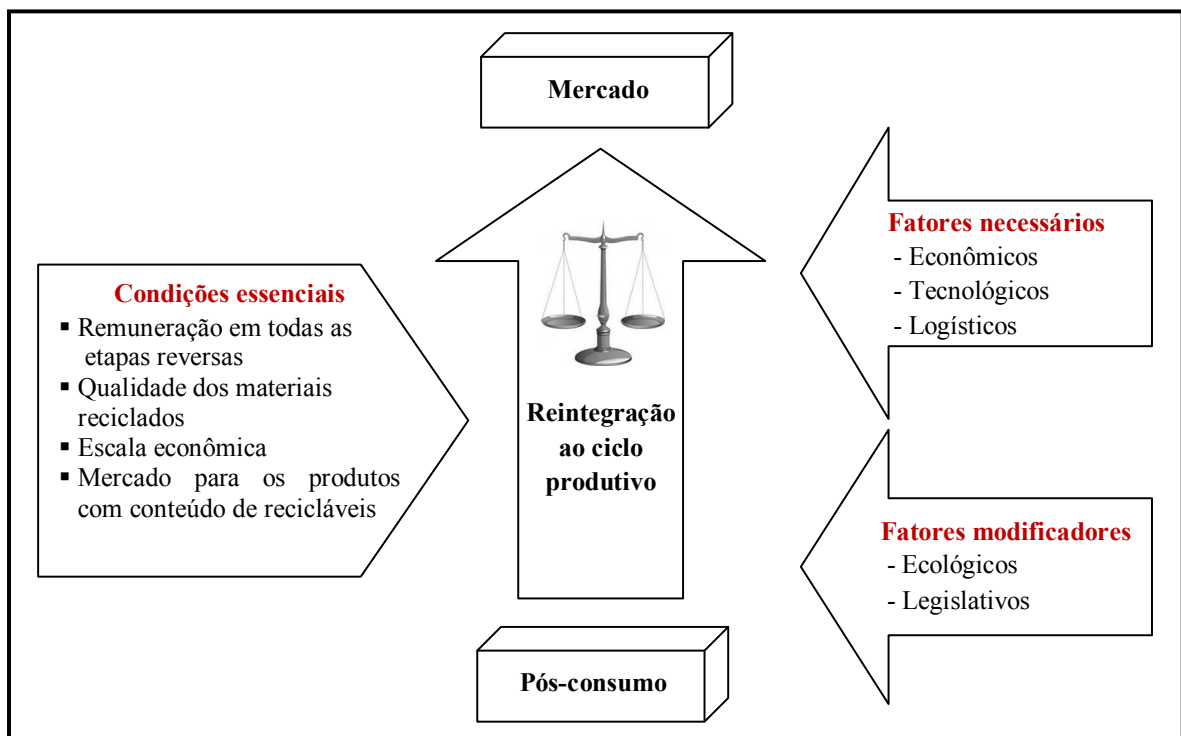


Figura 2.6 - Fatores que influenciam na organização dos canais reversos de pós-consumo

Fonte: Leite (2003, p.90)

Ainda segundo Leite (2003), experiências têm mostrado que a ineficiência de certas cadeias reversas é devido à falta de economia de escala suficiente e que, em muitos casos, a rentabilidade é baixa em um ou mais elos da cadeia, necessitando de subsídios de natureza diversas. Exemplos claros são as cadeias reversas de pós-consumo de embalagens em geral, com as conhecidas exceções de materiais de alto valor agregado, e mais recentemente a do denominado lixo eletrônico, na qual a rentabilidade de alguns produtos, em alguns elos é difícil de ser atingida em razão de seus baixos valores de mercado e da concorrência entre diversos materiais descartados pela sociedade.

Leite, Brito e Silva (2008) realizaram uma pesquisa (*survey*) com o objetivo de identificar os principais hábitos empresariais brasileiros relativos à LR. No total, 188 empresas de diversos ramos responderam a pesquisa. Na Tabela 2.1 são descritas as principais razões para as empresas aceitarem o retorno de produtos. Os respondentes puderam assinalar mais de um item e, na média, as empresas apresentaram 2,1 razões. Observa-se que o motivo mais citado está relacionado com a capacidade de competir da empresa e não há uma razão que se destaque entre as demais. O cumprimento de legislações foi pouco citado, mas isso pode ser consequência de não existir no Brasil (até a data da pesquisa) imposições legais quanto ao destino dos produtos e embalagens.

Tabela 2.1 - Motivação para as empresas aceitarem o retorno de produtos

Motivação	Respostas	Motivação	Respostas
Ter diferencial competitivo	74	Recuperar produtos p/ revenda	56
Eliminar produtos impróprios p/uso do canal de distribuição	68	Cumprimento de legislações	45
Recuperar produtos p/reprocesso	67	Outra	31
Responsabilidade ecológica	59	Total	400

Fonte: Leite, Brito e Silva (2008)

Na Europa, a prática da LR é incentivada por legislações. Na Alemanha, por exemplo, desde 1991, as indústrias devem obedecer a uma taxa mínima de reciclagem para as embalagens. Surge o termo “Responsabilidade Estendida ao Produtor” (EPR - *Extended Producer Responsibility*) que é um princípio político que estende a responsabilidade pelo ciclo de vida dos produtos (focando o retorno, reciclagem e disposição final) à cadeia produtiva. O sistema de normatização da série ISO 14.000, que estabelece requisitos para as empresas gerenciarem seus produtos e processos para minimizar impactos ao meio ambiente, também utiliza-se a LR como uma estratégia para se adequar à norma, além de ser uma

ferramenta para a competitividade, consolidação da imagem corporativa e *marketing* socioambiental.

No Brasil, exemplos de políticas que incentivam a LR são as regulamentações referentes a embalagens de agrotóxicos, pneus, pilhas e baterias usadas. No geral, existe a obrigatoriedade da realização da coleta, da reutilização ou reciclagem, do tratamento e da disposição final de forma ambientalmente adequada e segura dos produtos pós-consumo. Restrições quanto à aplicabilidade dessas obrigatoriedades são os produtos contrabandeados, a dificuldade de fazer treinamentos e conscientização dos consumidores, além da própria carência de fiscalização por parte dos órgãos responsáveis. A aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010) também visa promover a LR, por meio da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, coleta seletiva, reciclagem etc. Antes dessa legislação alguns Estados e Municípios brasileiros já possuíam suas próprias políticas de resíduos sólidos.

Stock, Speh e Shear (2006) afirmam que, nas empresas, estratégias e programas de LR podem resultar em uma maior rentabilidade e aumentar a qualidade do serviço ao cliente. Porém, Neiva (2009) contesta tal afirmação, pois para a autora, salvo algumas exceções, a implantação da LR é uma operação que ainda gera prejuízo ou no máximo se autofinancia, uma vez que o processo costuma ser até 30% mais caro que o lucro gerado pelo aproveitamento de materiais e pela venda de matéria-prima a outras indústrias. O presidente da Associação Brasileira da Indústria de Iluminação declarou, em uma entrevista à Revista Sustentabilidade, que as dimensões continentais do Brasil, aliadas ao alto custo do transporte, inviabilizariam a LR. Ele citou o exemplo de lâmpadas, em que ficaria muito mais caro fazer a LR do que produzir a própria lâmpada. Este é o argumento dos fabricantes e importadores de lâmpadas ao defenderem a retirada de seus produtos da lei que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, em que são obrigados a estruturar e implementar sistemas de LR (ROQUE, 2009).

Uma estratégia utilizada para incentivar a LR de produtos pós-consumo é o chamado “depósito reembolsável” (DR), que consiste em um pagamento (depósito) que deve ser realizado no ato da aquisição de um produto. Quando o consumidor devolver a parte recuperável do produto num posto de recebimento ou reaproveitamento, terá seu dinheiro devolvido. Este sistema foi inicialmente criado antes da década de 1970 pelas indústrias de bebida ao redor do mundo para assegurar o retorno e a reutilização das garrafas de vidro no processo de envasamento. Estados Unidos, Canadá, Japão, Taiwan e países da Europa têm

mostrado resultados positivos dessa estratégia. Para Aalbers e Vollebergh (2005), o depósito reembolsável é interessante tanto para os usuários, que ao participarem do sistema não terão perdas econômicas, quanto para o governo, que evitará custos com coleta, transporte e descarte de resíduos.

Mrozek (2000) afirma que o DR é um instrumento muito bom para resolver problemas com o descarte inadequado de resíduos. Costa e Pires (2010) desenvolveram um modelo econômico baseado no sistema DR com foco em incentivar a devolução de pneus usados pelo usuário, envolvendo-o na responsabilidade, para que seja possível encontrar o equilíbrio entre a geração e reciclagem. Porém, para alcançar resultados melhores do que abordagens compulsórias, o reembolso precisa ter um valor que induza os consumidores a retornar o produto usado. No Brasil, em 2003, foi editado o Projeto de Lei nº 1.765-A, que instituía a taxa reembolsável sobre os recipientes plásticos, alumínio, latas e vidros utilizados para bebidas alcoólicas, águas, refrigerantes, produtos de limpeza, cosméticos e outros materiais. No entanto, tal projeto foi rejeitado na Câmara dos Deputados no dia 28/9/2007.

Outra ação que visa incentivar a LR e a reciclagem é conhecida como “pagar pelo uso” (PBU - *Pay-by-Use*), que vem sendo utilizada em países da Europa e da América do Norte. De acordo com o volume ou peso dos resíduos descartados para a coleta, os usuários devem pagar uma taxa proporcional. Em localidades onde o aumento da reciclagem foi observado, verificou-se que o programa PBU era implantado juntamente com outras políticas, como a coleta seletiva (SKUMATZ E FREEMAN, 2006; EUNOMIA, 2003; YANG e INNES, 2007; CHANG *et al.*, 2007, HONG, 1999). Há opiniões divergentes sobre a influência da cobrança da taxa sobre o percentual de reciclagem: existem estudos que confirmam a elevação da taxa de reciclagem com a implantação do sistema PBU (FERRARA e MISSIONI, 2005; KIPPERBERG, 2007; LINDERHOF *et al.*, 2001) e outros que alegam não haver correlação entre ambos (DIJKGRAAF e GRADUS, 2004; KINNAMAN e FULLERTON, 2000; JENKINS *et al.*, 2003).

### **2.2.2. Coleta Seletiva**

Diferentemente da coleta convencional, em que todas as frações dos RSU são coletadas misturadas, a coleta seletiva tem como objetivo selecionar os resíduos previamente separados pelos geradores, tendo em vista o reaproveitamento. Se realizada de forma correta, possibilita várias opções de tratamento para os resíduos, ou seja, quais frações serão enviadas para métodos como a reciclagem (processamento industrial que fornece matéria-prima para a

fabricação de novos produtos), compostagem (tratamento biológico dos resíduos orgânicos, degradáveis), incineração (tratamento térmico) e, por fim, os que serão encaminhados para aterros. No Quadro 2.1 são apresentadas as principais características (citadas na literatura) dos sistemas de coleta seletiva e convencional. Segundo o CEMPRE (2008), a coleta seletiva apresenta um custo mais elevado quando comparada com a coleta convencional. Porém, destaca-se que do ponto de vista ambiental é uma das opções mais adequadas para promover a logística reversa dos RSU e a reciclagem.

Um novo modelo de coleta, utilizado em cidades como Barcelona e Singapura, é o “Sistema Subterrâneo”. Neste tipo de sistema são instaladas escotilhas, por onde os cidadãos jogam seus resíduos. Trata-se de um grande “sugador” com bocas conectadas a um gigantesco sistema de tubulação a, pelo menos, cinco metros da superfície. Os resíduos chegam a “viajar” a 70 km/h embaixo da superfície. O destino inicial é um centro de coleta, geralmente instalado na periferia da cidade. Posteriormente, os materiais são transportados para uma usina de triagem, onde plásticos, latas e papéis são reciclados. Adicionalmente, do lixo orgânico é retirado o combustível para mover turbinas, que produzem eletricidade (LOSEKANN, 2010; ZHANG, KEAT e GERSBERG, 2010).

Coleta Seletiva	Coleta Convencional
⇒ Materiais mais limpos	⇒ Coleta menos complicada, não há necessidade de separação
⇒ Maior qualidade	⇒ Pode utilizar caminhões com sistemas compactadores
⇒ Menos perdas de materiais por contaminação	⇒ Maiores quantidades de materiais coletados
⇒ Menos recursos necessários para a triagem (pessoas, equipamentos, tempo etc.)	⇒ Coleta é mais fácil e mais rápida, todos os resíduos podem ser misturados
⇒ Necessidade de conscientização, conhecimento e participação dos usuários	⇒ Mais conveniente e fácil para os usuários
⇒ Maiores custos	⇒ Economicamente mais eficiente
⇒ Menores quantidades coletadas devido ao volume	

Quadro 2.1- Comparativo entre a coleta seletiva e coleta convencional

Um estudo de casos múltiplos, realizado em 23 países em desenvolvimento, identificou 12 fatores que influenciam na sustentabilidade de programas de coleta seletiva e reciclagem. As atividades de coleta, triagem dos materiais (tanto na fonte geradora quanto nas associações de catadores) e os recursos financeiros públicos foram apontados como os principais obstáculos para a sustentabilidade desses programas. Desta forma, essas atividades precisam ser planejadas, pois afetam a totalidade do sistema, nas esferas social, ambiental e econômica. A presença de catadores no sistema de coleta foi constatada em 70% dos países em desenvolvimento analisados, dentre eles o Brasil (TROSCHINETZ e MIHELICIC, 2009).



Na Tabela 2.2 é apresentada a evolução no número de municípios brasileiros que possuem programas de coleta seletiva. O período da pesquisa foi de 1989 a 2008. A tabela também contém a descrição percentual desses programas, em relação ao total de municípios brasileiros.

Tabela 2.2 - Número de municípios brasileiros que realizam a coleta seletiva

Ano	Nº de Municípios	Porcentagem [%]
1989	58	1,04
2000	451	8,10
2008	944	16,96

Fonte: IBGE (2008)

Segundo a pesquisa, o avanço da coleta seletiva entre os anos de 2000 e 2008 foi verificado, sobretudo, nas regiões Sul e Sudeste (IBGE, 2008). Em outro estudo, realizado pela ABRELPE (2008), dos 5.565 municípios brasileiros, aproximadamente, 56% deles indicaram a existência de iniciativas de coleta seletiva. Porém, muitas vezes essas iniciativas resumem-se a soluções pontuais, não apresentando abrangência significativa, como a instalação de alguns Postos de Entrega Voluntária (PEVs) ou formalização de convênios com cooperativas de catadores. Esta pode ser a razão pela discrepância entre os valores apresentados na pesquisa do IBGE (16,95%) e os dados da ABRELPE (56%).

Segundo Brasil (2004) um planejamento adequado da coleta de resíduos deve atender aos seguintes parâmetros: (1) universalidade (abrangência) do serviço prestado; (2) periodicidade - os resíduos devem ser recolhidos em períodos regulares, pois a irregularidade traz riscos sob o ponto de vista sanitário e passa a desestimular a população; (3) frequência - deve ser a maior possível, principalmente em locais de clima tropical, onde o recomendado é a frequência diária; (4) horário - deve ser previsível; em áreas comerciais e locais de trânsito intenso, é mais viável a coleta noturna.

Na Figura 2.7 é apresentado um gráfico com a proporção de utilização de material reciclado no Brasil, por atividade industrial. O período da pesquisa foi de 1993 a 2008. As variáveis utilizadas são as quantidades de matérias-primas totais (toneladas/dia) e os valores de materiais reciclados consumidos (toneladas/dia). O indicador é a razão, expressa em porcentagem, entre a quantidade de material reciclado e a quantidade total de cada matéria-prima consumida pelas indústrias. Os dados utilizados foram disponibilizados pelas seguintes entidades: Associação Brasileira do Alumínio (ABAL); Associação Brasileira de Papel e Celulose (BRACELPA); Associação Técnica Brasileira de Indústrias Automáticas de Vidro (ABIVIDRO); Associação Brasileira da Indústria do PET (ABIPET); Associação Brasileira

de Embalagem de Aço (ABEAÇO) e Associação Brasileira da Indústria de Leite Longa Vida (ABLV).

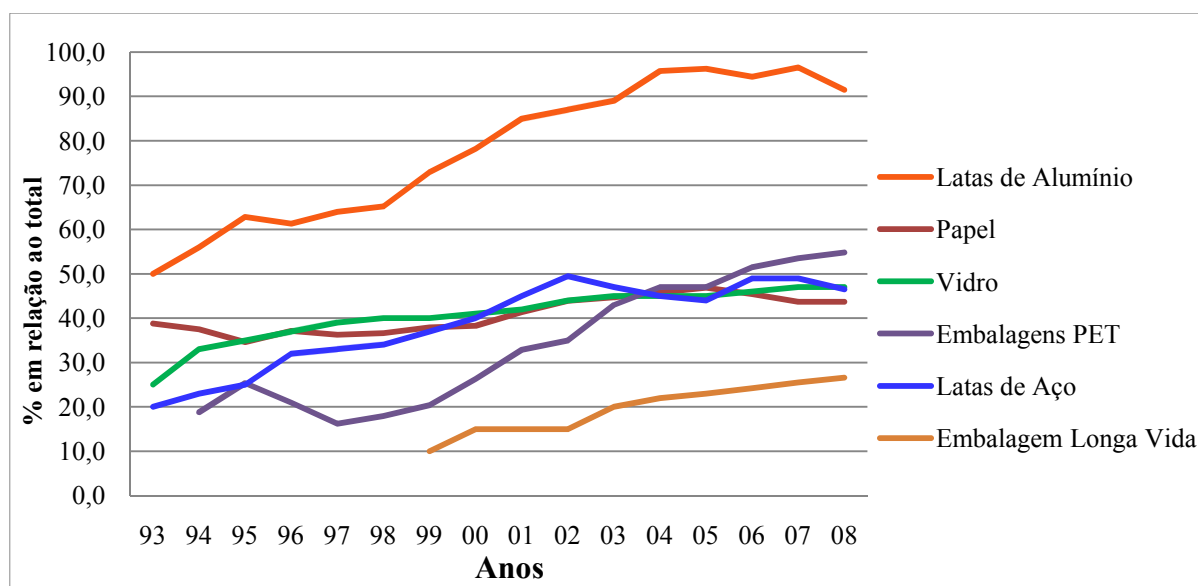


Figura 2.7 - Proporção de material reciclado no Brasil por atividade industrial  
Fonte: IBGE (2010)

Ressalta-se que esses dados precisam ser analisados com cuidado, pois os valores representam a proporção de reciclagem nas indústrias que pertencem às associações citadas anteriormente. Por exemplo, a ABEAÇO reúne as empresas que representam os principais fabricantes de matérias-primas, embalagens, componentes e equipamentos do setor de embalagens de aço. Isso pode significar que nem todas as empresas, instaladas no Brasil, foram contabilizadas. Outra questão é que, especificamente no caso brasileiro, os altos níveis de reciclagem estão mais associados ao valor das matérias-primas, aos níveis de pobreza e ao desemprego, do que à educação e à conscientização ambiental. É por esta razão que materiais como o papel, o vidro, a resina PET e as embalagens cartonadas, de mais baixo valor de mercado, apresentam índices de reciclagem bem menores que as latas de alumínio.

No geral, em países desenvolvidos a coleta seletiva acontece por meio da instalação de *containers* (lixeiras) localizados nas calçadas ou em locais (áreas) específicos, onde é feito o acondicionamento e triagem inicial dos materiais (BAUTISTA e PEREIRA, 2006; TROSCHINETZ e MIHELICIC, 2009). No Brasil, as estratégias mais utilizadas na coleta seletiva são: o modelo porta-a-porta, os PEVs e a coleta realizada por catadores organizados ou autônomos. Do total de municípios brasileiros, 49% trabalham com o modelo porta-a-porta, 26% disponibilizam os PEVs e a parceria existente com associações/cooperativas de catadores de materiais recicláveis ocorre em 43% dos programas municipais (CEMPRE, 2008).

### **Coleta Seletiva Porta-a-Porta**

Semelhante à coleta convencional, o veículo percorre a extensão das vias (ruas) recolhendo os materiais previamente separados e depositados em frente aos domicílios e estabelecimentos comerciais. Neste tipo de coleta a população não precisa se deslocar para realizar o depósito dos materiais recicláveis. No geral, os resíduos devem ser segregados em dois grupos: materiais orgânicos (úmidos) → compostos por restos de alimentos e materiais não recicláveis; materiais recicláveis (secos) → compostos por papéis, metais, vidros, plásticos etc. Os dias e horários da coleta são fixados e programados de acordo com a geração de resíduos de cada grupo. No Brasil, a fração orgânica constitui a maior parcela dos RSU, sendo assim, sua frequência de coleta é mais elevada.

Ribeiro e Machado (2009) descreveram outra alternativa para estruturar a coleta seletiva porta-a-porta. Segundo os autores, em um município mineiro, o acondicionamento dos resíduos sólidos é realizado em sacolas plásticas coloridas, que são recebidas no ato da compra em supermercados, mercearias e demais lojas da cidade. A prefeitura da cidade, em parceria com o comércio local, negociou a distribuição de três cores diferentes de sacolas plásticas: marrom (resíduos orgânicos), cinza (rejeitos - materiais não recicláveis) e verde (materiais recicláveis). Conforme os autores, é de responsabilidade da prefeitura complementar a distribuição dessas sacolas, em especial para as pessoas (famílias) que não conseguirem o número suficiente para acondicionar os seus resíduos.

### **Posto de Entrega Voluntária (PEV)**

Os PEVs, conhecidos também como Pontos de Entrega Voluntária ou “Ecopontos”, são locais estrategicamente definidos, de fácil acesso e com grande fluxo de pessoas (escolas, centros esportivos, bibliotecas, praças, supermercados, bancas de jornal, condomínios etc.). Neles são instaladas caçambas, *containers* ou um conjunto de lixeiras, que diferenciados por cores, indicam os diferentes tipos de materiais a serem recebidos. A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 275, de 25 de abril de 2001, estabelece esse código de cores a ser adotado para a identificação dos recipientes. Como os resíduos são previamente separados pela população, recomenda-se utilizar caminhões com carrocerias compartimentadas que possibilitem o transporte dos materiais sem misturá-los, facilitando a triagem final, além de diminuir a quantidade de rejeitos e perdas.

O tempo de existência da coleta seletiva pode ser um fator positivo para o desempenho do programa, consequência da internalização, por parte da população, do hábito de separar os resíduos sólidos. Em relação aos custos de transporte, os PEVs, em geral, demandam menos

recursos do que o sistema porta-a-porta. Com a instalação dos pontos de entrega são eliminados custos com percursos longos, especialmente em bairros com baixa densidade populacional, evitando que o veículo de coleta percorra trechos improdutivos. Os PEVs podem facilitar ainda mais a triagem dos materiais, ao possibilitar a separação e o descarte dos resíduos conforme cada fração reciclável. No entanto, este tipo de programa demanda uma maior disposição da população para colaborar com a coleta seletiva, uma vez que é necessário o deslocamento até o PEV. Os *containers* (recipientes de acondicionamento) também podem sofrer atos de vandalismo, exigem manutenção e limpeza, o que eleva os custos do sistema (BRINGHENTI *et al.*, 2004; ROVIRIEGO, 2005; PEIXOTO, CAMPOS E D'AGOSTO, 2006).

No mercado existem diversos tipos de *containers*, que podem ser customizados de acordo com as particularidades de cada programa de coleta seletiva. As aberturas, por onde os usuários depositam os materiais, podem ser confeccionadas conforme o *design* do produto a ser acondicionado. O intuito é reduzir depósitos indevidos e, conseqüentemente, a demanda de tempo nas triagens. Outra preocupação, que permeia as discussões referentes aos modelos dos *containers*, diz respeito à possibilidade de apropriação dos materiais por outras pessoas, como catadores autônomos, não associados. Para tanto, verifica-se a utilização de *containers* que podem ser inclusive trancados, evitando esse tipo de ação. Ressalta-se que o objetivo não é retirar a fonte de renda de nenhum catador, mas sim incentivá-lo a participar de associações.

Na Figura 2.8 são ilustrados modelos de *containers* utilizados para a coleta seletiva. Na primeira foto (à esquerda) é apresentado o modelo usado no Programa Goiânia Coleta Seletiva (PGCS). Na primeira etapa de implantação do PGCS, ocorrida em novembro de 2008 em parceria com cooperativas de catadores, o acondicionamento dos materiais era realizado em PEVs com capacidade volumétrica de 3,85 m<sup>3</sup> cada um e instalados em 129 pontos na cidade. Em 2009, na segunda etapa, com o intuito de abranger toda a cidade com o serviço de coleta seletiva, houve também o lançamento da coleta seletiva porta-a-porta (PGCS, 2010).

Figura 2.8 - Modelos de *Containers*

Fonte: < <http://www.goiania.go.gov.br>>; < <http://www.skyscrapercity.com>>

### **Sistema de Coleta Híbrido**

Verificado especialmente no Brasil, este tipo de coleta, devido à sua informalidade, não é referenciada em muitas pesquisas da área. Essencialmente, possui características da coleta seletiva porta-a-porta e dos PEVs. O veículo passa por alguns pontos, já determinados, na área (bairro) onde será realizada a coleta. Os catadores, na maioria das vezes transportados no mesmo veículo, percorrem a pé e recolhem os recicláveis que estiverem depositados nas calçadas das residências, geralmente localizadas nas ruas adjacentes ao ponto de partida. Tudo o que é coletado pelos catadores é transportado e reunido em locais (pontos) onde o veículo de coleta passará. De acordo com Roviriego (2005), esse tipo de coleta necessita de mais mão de obra, quando comparado com a coleta porta-a-porta e com os PEVs. Porém, pode ser compensado pela economia com o custo de transporte. Ainda segundo o autor, o sistema híbrido e o porta-a-porta podem apresentar custos de implantação mais enxutos do que os PEVs.

## **2.3. ASSOCIAÇÕES DE CATADORES DE MATERIAIS RECICLÁVEIS**

Os RSU que, a princípio, implicam em materiais sem valor para o mercado, são a fonte de renda dos grupos de catadores. Grimberg (2007) afirma que um sistema de recuperação de resíduos recicláveis, que pretenda avançar na direção da sustentabilidade, pressupõe a combinação de pelo menos dois fatores: (1) a responsabilidade dos geradores pela produção de seus resíduos; (2) a integração dos catadores na forma de autogestão. É importante que o Estado, no papel das prefeituras, assuma a coordenação desse processo. O que muitas vezes ocorre é que, em consequência da imposição de legislações, os municípios

são obrigados, depois de vários anos de descaso, a realizar ações emergenciais para cumprir essas leis.

A Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, no seu Artigo 7º, trata sobre a integração dos catadores de materiais recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. O objetivo é incluir esses trabalhadores formalmente nesta cadeia da reciclagem. Já no seu Artigo 8º, faz menção ao incentivo, à criação e ao desenvolvimento de cooperativas, ou de outras formas de associação, de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis. Desta forma, busca-se obter para os catadores um maior reconhecimento, melhores condições de trabalho e renda (BRASIL, 2010).

No Brasil, verifica-se tanto a presença de associações quanto a de cooperativas de catadores. Existem diferenças significativas entre ambas as formas de organização. Por exemplo: enquanto a associação é mais adequada para atividade social, a cooperativa é voltada para desenvolver atividade comercial. Para a constituição das associações são necessárias no mínimo duas pessoas; já para a cooperativa, esse número cresce para vinte. Geralmente, há uma preferência inicial, por parte dos catadores, pela criação de associações (mesmo que o objetivo seja a comercialização de produtos). Isso é decorrente das facilidades inerentes à associação (gerenciamento mais simples, custo de registro ser menor etc.) quando comparadas às exigências das cooperativas.

Ressalta-se que, em razão do objeto de estudo desse trabalho ser uma associação, por questões de simplificação, optou-se por utilizar esse termo como representativo do agrupamento dos catadores, sem distinção entre as duas formas de empreendimentos supracitadas. Mesmo nas cidades que contam com a formalização de associações, existem muitos catadores autônomos, que trabalham individualmente. Na maioria dos casos, há uma concorrência na busca por materiais entre esses e os associados. Ainda que esses trabalhadores autônomos também façam parte da cadeia produtiva da reciclagem, este estudo se restringe às associações.

Um marco na história dos catadores foi a criação, em 1999, do Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis (MNCR). Esta instituição vem crescendo a cada ano e revelando grande capacidade organizativa e com resultados concretos para a categoria. Um exemplo de conquista foi o reconhecimento, em 2002, da profissão do catador na Classificação Brasileira de Ocupações (CBO). Segundo a definição, o catador(a) de material reciclável é o(a) trabalhador(a) que cata, seleciona e vende materiais recicláveis como papel,

papelão, plástico e vidro, bem como materiais ferrosos e não ferrosos e outros materiais reaproveitáveis (CBO, 2009). Outra denominação, que vem sendo disseminada no meio da reciclagem, é o de “Agentes Ambientais”. Nesta definição, os catadores são reconhecidos pelo trabalho prestado em prol do meio ambiente e da sociedade, ao exercerem o serviço de coletar os resíduos recicláveis descartados.

Miura (2004) conclui que o problema não está em reconhecer legalmente o catador como um profissional, mas sim, em reconhecer seu direito às condições dignas de trabalho. Mesmo atuando como elemento base da LR, no processo produtivo da reciclagem, ainda existem situações em que o trabalho é precário, sendo realizado em condições inadequadas, com alto grau de periculosidade e insalubridade, com riscos (inclusive irreversíveis) à saúde e com a ausência total de garantias trabalhistas (MEDEIROS e MACÊDO, 2006).

### **2.3.1. Processo Produtivo nas Associações de Catadores**

Gonçalves (2006) enfatiza que a precariedade do trabalho da catação é um fator fundamental para os ganhos dos demais agentes da cadeia reversa da reciclagem. Para o autor, o cumprimento das leis trabalhistas e os contratos formais de trabalho tornariam a reciclagem dos resíduos menos rentável e economicamente inviável para muitas indústrias. Com o objetivo de orientar propostas de políticas públicas, um estudo realizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) apontou diversos problemas enfrentados pelos catadores, cujas principais conclusões são descritas abaixo:

- A renda média que os catadores recebem foi considerada inadequada pelo serviço que prestam. Está associada a dois grupos de causa:
  - O trabalho de coleta de materiais recicláveis ainda é pouco reconhecido e, por isso, a renda dos catadores origina-se somente dos materiais que vendem, não existindo, na maioria dos casos, outro tipo de sistema de remuneração;
  - A quantidade de materiais que recolhem é inferior ao total disponível nos RSU. Assim, parte desses resíduos ainda é encaminhada para aterros e lixões.
- A renda dos catadores varia consideravelmente devido às flutuações dos preços dos materiais recicláveis. Para tentar corrigir essa situação, uma política de Pagamento por Serviços Ambientais Urbanos (PSAU) poderia garantir que os preços dos materiais não ficassem abaixo de determinado patamar.

- A coleta seletiva é tratada separadamente e com menos importância do que a coleta convencional;
- As associações, no geral, são pouco organizadas para a gestão e para cumprir a coleta regularmente (CARLEIAL e CRUZ, 2010).

Lima e Oliveira (2008) verificaram que dentre todas as dificuldades para obter ganhos de produtividade, o gargalo determinante é a triagem, prejudicada pela coleta ineficiente. Os problemas que a maioria das associações enfrentam (montante de faturamento, dificuldades para investimentos, melhoria contínua e crescimento do negócio) não são consequência somente das características organizacionais e pessoais de seus membros, mas também das características inerentes ao processo produtivo da catação e do setor de reciclagem como um todo, que necessita, *a priori*, ser compreendido para posteriormente ser melhorado.

Oliveira Filho (2006) afirma que o número de catadores não é considerado o melhor critério para tipificar o desempenho das associações. Um agrupamento com poucos membros, mas com equipamentos e instalações adequados pode apresentar um melhor desempenho do que outro com muitas pessoas, desde que conte com equipamentos e instalações minimamente funcionais. Neste contexto, o autor pesquisou diversas associações, distribuídas em oito estados brasileiros, conforme os valores de dois indicadores: (1) Eficiência produtiva, que representa a produtividade média, em quilogramas, de materiais processados por catador; (2) Eficiência econômica, calculada pela renda média mensal, expressa em reais, de cada catador associado.

Parte dos resultados da pesquisa foi apresentado por meio da divisão das associações em três categorias: alta, média e baixa eficiência. A Tabela 2.3 contém a média dos valores mensais encontrados para os dois indicadores: eficiência produtiva e eficiência econômica. A última coluna apresenta a porcentagem de empreendimentos em relação ao total pesquisado que faz parte de cada grupo.

Tabela 2.3 - Classificação das Associações conforme a eficiência produtiva e econômica

<b>Eficiência</b>	<b>Produção média per capita [Kg/mês]</b>	<b>Faturamento médio per capita [R\$/mês]</b>	<b>Participação [%]</b>
Alta	1754	639,25	15
Média	1216	357,43	40
Baixa	778	174,71	45

Fonte: Adaptado de Oliveira Filho (2006)

Conforme a tabela, a maioria dos empreendimentos pesquisados pertence aos grupos de média e baixa eficiência. Outras conclusões do estudo foram:



- Associações de baixa eficiência possuem, em média, duas vezes mais associados dos que a de alta eficiência;
- Todas têm o potencial de criação de novos postos de trabalho. No entanto, as associações mais eficientes tendem a ter uma maior capacidade de criar novos postos de trabalho e com menores custos;
- A ineficiência e a baixa produtividade resultam em uma maior dependência do poder público e de intermediários. Conseqüentemente, a criação de novos postos de trabalho se caracterizará com trabalhadores inseridos em uma posição subordinada.
- Análises mostraram existir uma forte correlação entre os investimentos totais e eficiência (produção e faturamento). Pouco adianta investir em instalações físicas e edificações se os catadores não têm carrinhos e caminhões para efetuar a coleta.

Um estudo sobre as condições de trabalho em associações de catadores, realizado nos municípios mineiros de Barroso, Campo Belo e São João Del-Rei, verificou que apesar dos avanços já conquistados, ainda há obstáculos que prejudicam a produtividade e a eficiência do canal reverso. Em Campo Belo, por exemplo, onde a coleta seletiva é realiza porta-a-porta e abrange toda a cidade, um dos principais obstáculos é a baixa adesão da população no que tange à separação na fonte. Nos outros dois municípios, a coleta seletiva se restringe a alguns bairros e os catadores não contam com nenhum veículo de coleta. Também foi verificada a falta de equipamentos básicos para a realização das atividades operacionais de coleta, prejudicando a eficiência de todo o sistema (OLIVEIRA e ABREU, 2008).

Para Dias e Teodósio (2006), o alcance de bons resultados na LR da reciclagem depende, sobretudo, do investimento nos dois extremos dessa cadeia: na coleta seletiva e no mercado para o produto reciclado. Especificamente, no sistema de coleta seletiva (foco desta pesquisa), constata-se, conforme descrito nesta fundamentação teórica, a necessidade e oportunidade para a utilização de ferramentas que auxiliem no seu processo de planejamento e tomada de decisões. Assim, com o objetivo de analisar e buscar melhores cenários, a utilização de *softwares* específicos para questões logísticas pode possibilitar uma visão abrangente e uma maior compreensão de todo o sistema.

## **2.4. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS**

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são *softwares* que fornecem armazenagem, recuperação, análise, visualização e criação de mapas com capacidades para informações espaciais, como um conjunto (rede) de caminhos (ruas), informações territoriais,

localização de informações censitárias etc. (CHURCH, 2002). Em outra definição, os SIG são considerados uma ferramenta que permite manipular dados georeferenciados e alfanuméricos para, a partir de análises espaciais, apoiar a tomada de decisão, como por exemplo, a definição do melhor roteiro de entregas a ser seguido (FARKUH NETO e LIMA, 2006; BOROUSHAKI e MALCZEWSKI, 2010).

Robaina *et al.* (2009) enfatizam que o termo SIG é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial. Miranda (2010) destaca que o conceito de SIG evoluiu nos últimos anos, porém seu objetivo não mudou. Segundo o autor, ao analisar as definições de SIG encontradas na literatura, observa-se que o contexto da definição foi modificado à medida que o uso destes sistemas evoluiu e incluiu diferentes campos de pesquisa.

Câmara (2005) cita que a diferença essencial de um SIG para um sistema de informação convencional é a sua capacidade de armazenar tanto os atributos descritivos como as geometrias dos diferentes tipos de dados geográficos. De acordo com o autor, as principais características dos SIG são:

- Inserir e integrar, em uma única base de dados, informações espaciais provenientes de meio físico-biótico, de dados censitários, de cadastros urbano e rural e de outras fontes de dados, como imagens de satélite e GPS;
- Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar e visualizar o conteúdo da base de dados geográficos.

Em um SIG os dados geográficos contêm basicamente dois tipos de informações: a espacial (descreve o formato do objeto geográfico) e a alfanumérica (contém as características não espaciais dos objetos). Existem duas grandes classes de estrutura de dados para representar um elemento ou objeto geográfico: vetorial (formado por pontos, linhas e polígonos) e matricial ou *raster* (matriz composta por linhas e colunas). A Teoria dos Grafos geralmente é utilizada para a resolução de problemas que envolvem modelos de rede. Segundo Ziviani (2004), um grafo é constituído por um conjunto de vértices (pontos, interseções) e por um conjunto de arestas (linhas, rede viária) conectando pares de vértices. Ressalta-se que as arestas podem ser direcionadas e sua direção pode, por exemplo, representar o sentido de circulação em uma via.

O primeiro SIG (informatizado) foi desenvolvido no Canadá em 1962, mas, só tornou-se totalmente aplicável em 1971, sendo denominado *Canada Geographic Information Systems*. As instituições públicas e áreas de domínio militar foram os primeiros usuários destes produtos. O objetivo inicial era disponibilizar informações georeferenciadas para apoiar a gestão pública na prestação de serviços à sociedade, como por exemplo, a realização de inventários de terras que envolviam aspectos socioeconômicos e ambientais. No Brasil o histórico não foi diferente: as primeiras aplicações do SIG foram direcionadas aos setores de energia e meio ambiente (NAZÁRIO, 1998).

A indústria dos SIG começou a amadurecer, principalmente nos Estados Unidos, no final da década de 1970 e passou por um rápido crescimento na década de 1980, em que alcançou aceitação mundial. O mercado da década de 1990 é caracterizado pela ampla aplicação no setor privado e pela disseminação em novas áreas e enfoques, como por exemplo: *geo-marketing*, gestão de território (em setores como: minerais, agrícolas, logísticos), áreas de cartografia, análise de recursos naturais, licenciamento e impactos ambientais, transportes, comunicações, energia, hidrogeologia, zoneamento e planejamento urbano e regional etc. (CALIJURI e ROHM, 1995; DOMINGUES e FRANÇOSO, 2008; LOPES, 2005; NAZÁRIO, 1998; ROSE, 2001; PINTO e MONTEZANO, 2005).

Os SIG evoluíram a partir de séculos de produções de mapas e da compilação de registros geográficos, mas pode-se dizer que a disseminação, a popularização e a sua evolução se confundem com a própria evolução dos microcomputadores. Esse fenômeno é observado principalmente no Brasil a partir da década de 1990 (MIRANDA, 2010). A seguir é apresentada uma síntese da evolução da tecnologia SIG feita a partir dos autores Berry (2006); Berry e Mehta (2009):

- Década de 1970 → os SIG permitiam a entrada de dados sem definição prévia do esquema conceitual, assemelhando-se a ambientes CAD (*Computer-aided design*). Os SIG não possuíam suporte adequado para construir grandes bases de dados espaciais devido às suas limitações. O principal avanço desta época foi a mudança no formato dos dados mapeados: de desenhos manuais (feitos no papel) para formatos digitais (armazenados em disco) que permitiam rapidamente atualizar mapas e redesenhar áreas, o que antes levava semanas. Neste período surgiram também os principais conceitos e processos que formaram a base para a moderna tecnologia SIG.
- Década de 1980 → o interesse pelo uso dos SIG levou ao aparecimento de gerenciadores de dados geográficos, que armazenam tanto a geometria como os atributos dos objetos.

Nestes sistemas é atribuída a cada característica geográfica uma identificação. Por exemplo, o usuário é capaz de apontar para qualquer localização em um mapa e recuperar informações sobre este local; ou pode especificar um conjunto de condições e direcionar os resultados da pesquisa geográfica para serem mostrados em um mapa.

- Década de 1990 → ênfase nas "geo-análises". Com a evolução da geotecnologia, foram adicionadas aos SIG novas capacidades de processamento, relacionadas com captura, codificação, armazenamento, análise e visualização de dados espaciais. Os *softwares* passaram a disponibilizar ferramentas analíticas que forneciam um quadro matemático/estatístico que permite representar o espaço geográfico numericamente. A Estatística Espacial possibilita mapear a variação de um conjunto de dados para mostrar onde ocorrem respostas incomuns e pode descobrir "relações numéricas espaciais" dentro e entre as camadas de um mapa, tais como: a criação de um mapa para identificar onde poderão estar localizados clientes potenciais, com base nas vendas existentes e nas informações demográficas.
- Século XXI → mapeamento multimídia. O SIG foi considerado domínio de um número relativamente pequeno de pessoas durante seus primeiros anos de surgimento. No entanto, após a década de 2000 tornou-se uma tecnologia bem mais difundida, estando presente em telefones celulares, serviços web etc. A integração dos SIG com o sistema GPS e com as imagens de sensoriamento remoto é outra característica do novo ambiente de processamento. Segundo os autores supracitados, a próxima fronteira de evolução é a visualização e análises em 4D (X,Y,Z, Tempo), ou seja, estruturas de dados dinâmicas para representar o "tempo" como uma dimensão.

Câmara e Queiroz (2004) apresentaram, numa visão abrangente, o relacionamento hierárquico dos principais componentes ou subsistemas de um SIG (Figura 2.9). No nível mais próximo ao usuário (interface homem-máquina) é definido como o sistema é operado e controlado. Desde a sua concepção, um SIG deve ser compreendido como uma ferramenta para apoiar a tomada de decisão por parte do usuário. Fitz (2008) afirma que, nesse sentido, a sua estrutura de um SIG deve ser muito bem planejada para que essa interação homem-máquina ocorra de maneira eficiente e atenda às necessidades dos usuários. No nível intermediário, um SIG deve ter mecanismos de processamento de dados espaciais (entrada, edição, análise, visualização e saída). Finalmente, no nível mais interno, um sistema de gerenciamento de bancos de dados geográficos oferece armazenamento e recuperação dos dados espaciais e dos seus atributos. Para Câmara e Queiroz (2004), cada *software*, em função

de seus objetivos e necessidades, implementa estes componentes de forma distinta, mas todos os subsistemas citados devem estar presentes em um SIG.

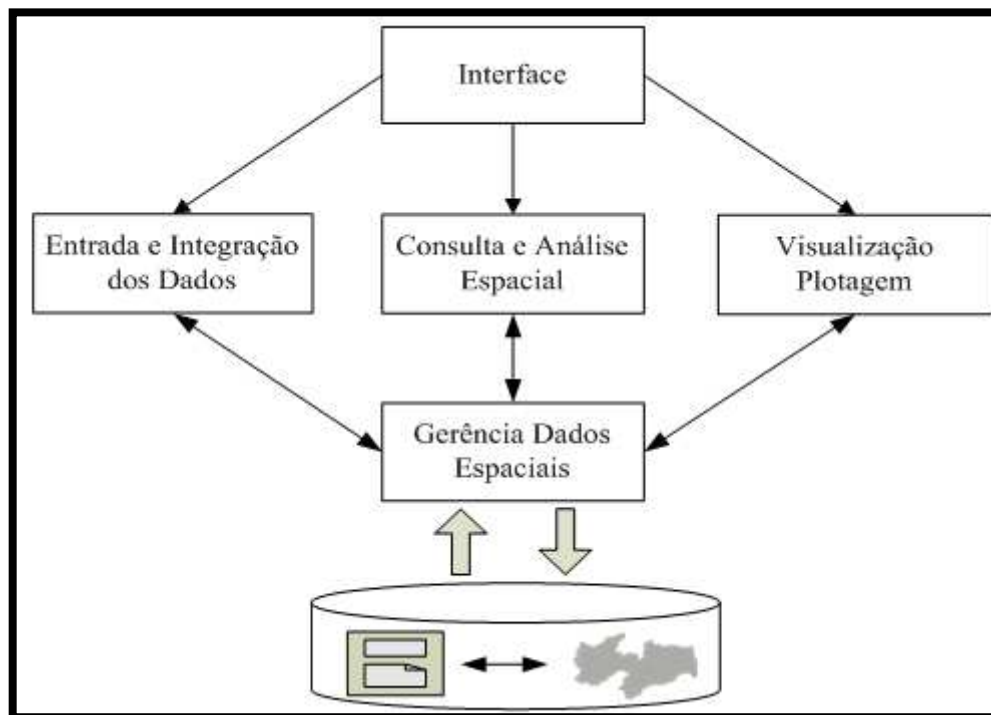


Figura 2.9 - Estrutura geral de um SIG

Fonte: Câmara e Queiroz (2004)

Lima (2003) afirma que o potencial de análise dos SIG tem sido apontado como fundamental para distinção entre outros sistemas de informação, o que caracteriza os SIG cada vez mais como Sistemas de Apoio à Decisão Espacial (SADE). As Tecnologias SADE resultam da união de tecnologias SIG com tecnologias SAD (Sistema de Apoio à Decisão). Para Rafaeli Neto (2004), a capacidade de suporte à decisão de um SIG está calcada no Banco de Dados Geográficos (BDG) e nas funcionalidades do *software* para a manipulação dos dados. O BDG modela a morfologia do mundo real, por meio dos dados espaciais e captura sua dinâmica através dos atributos. Ainda segundo o autor, analisar um sistema geográfico, onde um determinado problema em estudo se manifesta, é importante à existência de informações confiáveis, capazes de ser manipulada de forma eficiente. As características dos dados e sua respectiva articulação no BDG devem ser definidas na modelagem conceitual do sistema, sempre focalizando os problemas que o SIG deve ajudar a resolver.

Já Fitz (2008) enfatiza que um procedimento muito relevante existente nos SIG é a capacidade do sistema em executar a sobreposição de camadas (*layers*) de dados espaciais, conhecido como *overlay*. Essas camadas são georeferenciadas e podem ser livremente manipuladas, o que permite gerar informações adicionais às preexistentes. A sobreposição de

camadas pode ser feita tanto em arquivos *raster* quanto em arquivos vetoriais. Em geral, os SIG são considerados a principal ferramenta utilizada pelo “geoprocessamento” ou “geoinformática”. Sobre essas terminologias, Câmara (2010) afirma que os termos ingleses *Geographical Information Systems* e *Geographical Information Science* deram origem a vários termos em Português que são utilizados de forma equivalente, embora existam diferenças sutis entre eles, a citar:

- Geotecnologias - termo genérico que se refere às tecnologias de tratamento computacional da informação geográfica. Inclui as tecnologias SIG, GPS e dispositivos móveis;
- Geoprocessamento - foi uma tentativa de traduzir *Geographical Information Science* para o português, em que se une o prefixo “geo” ao termo "processamento" para se referir aos SIG, ou seja, aos tratamentos computacionais de dados geográficos. Para o autor, o termo “Geoinformática” deve ser utilizado em detrimento ao geoprocessamento.
- Geoinformática - é uma melhor forma de descrever a disciplina científica que lida com teorias, métodos e técnicas para representação computacional de dados geográficos. O termo "informática" tem uma conotação ampla em Português e inclui as atividades de ciência e tecnologia de informação. Assim, Geoinformática é um conceito amplo para incluir muitas atividades que tem em comum o uso de TI (Tecnologia de Informação) para tratar dados geográficos.

Foi no início da década de 1990 que pesquisadores começaram a abordar a temática dos SIG não somente como uma ferramenta ao serviço de determinadas ciências, mas como uma área do saber *per se* (MARK, 2003). Goodchild (1992) declarou a necessidade de se reconhecer a ciência nos SIG, ao defender a ideia que eles são muito mais que uma tecnologia. Surge então, nesta época, o conceito de “Ciência da Informação Geográfica ou Ciência da Geoinformação” que refere-se à ciência que está por trás do sistema (HEWHOOD, CORNELIUS e CARVER, 2002). Longley *et al.* (2001) definem tal ciência como o estudo dos conceitos fundamentais que advêm da criação, manuseio, armazenamento e utilização da informação geográfica, sendo o corpo do conhecimento que os SIG implementam e exploram.

Câmara, Monteiro e Medeiros (2004) enfatizam que a Ciência da Geoinformação ainda não se consolidou como disciplina científica independente. Para que isto aconteça, será preciso estabelecer um conjunto de conceitos teóricos, de aplicação genérica e independente de aspectos de implementação. Para os autores, a tecnologia SIG evoluiu de maneira muito rápida a partir da década de 1970, mas esse desenvolvimento não foi acompanhado por um correspondente avanço nas bases conceituais da geoinformação. Como resultado, o

aprendizado da geoinformática tornou-se singularmente difícil e as raízes deste problema estão na própria natureza interdisciplinar da Ciência da Geoinformação.

Dentre os vários tipos de SIG disponíveis no mercado, de particular interesse para este trabalho, é o denominado Sistema de Informações Geográficas para Transportes (SIG-T). O referido *software* possui rotinas específicas para pesquisas em logística. Thill (2000) afirma que, embora os estudos com transportes tenham demorado a adotar os SIG como uma tecnologia-chave para apoiar pesquisas e atividades operacionais, tem havido um aumento desse tipo de aplicação após a década de 1990.

#### **2.4.1. Sistema de Informações Geográficas para Transportes**

O transporte impõe consideráveis custos tanto para o setor público quanto para o privado, chegando a representar cerca de dois terços dos custos logísticos totais (DABLANC, 2007; BALLOU, 2006). Na Logística Reversa (LR) esses custos podem ser maiores do que no fluxo direto devido a não padronização da demanda, a dificuldade em obter economias de escala e a área geográfica dispersa. Em geral, na logística direta a movimentação de produtos parte de uma origem para muitos destinos, já a movimentação na LR é o oposto - são muitas origens para um destino, o que pode encarecer o processo logístico e inviabilizar o preço final desses produtos (GUABIROBA e D'AGOSTO, 2008; TIBBEN-LEMBKE e ROGERS, 2002; FIGUEREDO, 2002).

A temática dos transportes é frequentemente multidisciplinar, abrangendo aspectos ambientais, econômicos, demográficos e logísticos, resultando em um banco de dados de diversas origens e muitas vezes disponíveis em formatos distintos. A particularidade destes dados é a sua natureza espacial. Assim, os SIG-T apresentam-se como uma ferramenta capaz de integrar essa gama de informações e prover análises globais, por meio da capacidade analítica que possuem.

Vonderohe *et al.* (1993) afirmam que os SIG-T foram concebidos por meio da associação entre os Sistemas de Informações de Transportes (TIS - *Transportation Information System*) e os SIG já existentes. Essa junção proporcionou um aperfeiçoamento na estrutura do banco de dados e teve a concepção do elemento “localização” como a base de toda a organização da informação. O objetivo dessa união foi fornecer referências consistentes para interpretar e processar dados nas formas demandadas para aplicações em transportes. Os SIG-T utilizam uma série de metodologias, modelos e análises que lhes são particulares e que geralmente não se encontram disponíveis num SIG convencional (BATATA, 2003).

Como exemplo de um SIG-T tem-se o *software* TransCAD, que além de possuir funções básicas de um SIG, engloba rotinas específicas para logística e transportes em geral, como os problemas de roteirização de veículos, cálculo de distâncias percorridas e localização de atividades. O referido *software* possui uma arquitetura modular aberta, que permite customizar e ampliar as funcionalidades do aplicativo com procedimentos escritos pelo próprio usuário. A linguagem de programação utilizada para esse fim é denominada de GISDK (*Geographic Information System Development Kit*) e o TransCAD possui um manual específico e esse respeito.

De acordo com Rose (2001), o TransCAD enquadra-se na configuração exigida para atuar como um SIG-T e possui potencialidades para analisar vários tipos de redes: transporte público, metrovias, ferrovias, rodovias etc. Desenvolvido pela empresa norte americana Caliper, o programa inclui uma biblioteca contendo dados geográficos, demográficos e de transportes. Em relação ao número de modos de transporte, de nós, de linhas (rede viária) e de zonas de tráfego depende da memória do computador utilizado e não há restrições quanto a esses valores (PORTUGAL e GOLDNER, 2003).

Pelizaro (2003) apresentou uma proposta para avaliar o desempenho de *softwares* comerciais utilizados para a roteirização de veículos, para tanto realizou uma avaliação comparativa de dois produtos, sendo um deles o TransCAD. A avaliação proposta foi realizada por meio da comparação dos resultados apresentados pelos programas na solução de problemas testes cuidadosamente selecionados da literatura, com os melhores valores já conseguidos na solução dos mesmos. A heurística de um dos programas (TransCAD) mostrou-se bastante robusta, apresentado, para todas as classes testadas, soluções que desviam aproximadamente em 20% para cima da média das melhores soluções encontradas na literatura revisada. O outro *software* analisado apresentou comportamento instável, portanto não robusto, impossibilitando estimar com segurança o quanto seus resultados estão distantes da solução "ótima".

Lopes Filho (2003) ressalta duas características essenciais que um SIG-T deve possuir:

- Esquemas de representação de rede mais adaptados para aplicações em transportes, uma vez que os SIG inicialmente tratavam principalmente do gerenciamento de recursos naturais, em que o processamento de dados referia-se a polígonos;
- Capacidades analíticas específicas para a resolução de problemas de transportes, como a obtenção de caminhos mínimos.



Algumas aplicações do TransCAD encontradas na literatura brasileira são descritas a seguir.

Palhares (2008) apresentou uma proposta para o equilíbrio do fluxo de veículos no espaço urbano de uma cidade de porte médio. O autor demonstrou que se o desenvolvimento de subcentros (atividade ou conjunto de atividades que conferem características de centralidade ao espaço urbano, como uma réplica em tamanho menor do centro principal) fosse incentivado, o fluxo de veículos na região central da cidade poderia diminuir, melhorando assim o trânsito, os tempos de deslocamento e a qualidade de vida no centro. O TransCAD foi utilizado para configurar a rede viária e realizar análises da situação atual e de cenários futuros, em que o fluxo de veículos seria reduzido nos principais corredores que acessam a área central da cidade e aumentaria nas áreas de influência dos subcentros.

Lopes (2009) apresentou uma avaliação das necessidades especiais dos usuários portadores de deficiência de mobilidade em deslocamentos urbanos por ônibus, contemplando proposições de implantação de sistemas que atendam a essa parcela da população. Com o auxílio do TransCAD, foram analisadas as localizações das residências dos usuários, quantificadas as demandas por transportes (com os principais deslocamentos no município) e comparadas às ofertas existentes, propondo meios de equilíbrio no sistema. O trabalho sugeriu que, nos corredores que apresentaram um elevado número de viagens, sejam criadas linhas regulares dedicadas exclusivamente aos portadores de necessidades especiais.

Lemes (2005) realizou o diagnóstico e modelagem do cenário real do uso e ocupação do solo e do sistema de transportes públicos em Uberlândia/MG. As variáveis socioeconômicas e do transporte público operado por ônibus, juntamente com as diretrizes estabelecidas no Plano Diretor<sup>3</sup> da cidade, foram utilizadas e possibilitaram a previsão de um cenário futuro para o ano de 2020. O TransCAD foi utilizado para a configuração e análises dos cenários. Como conclusão principal, verificou-se que o aumento no número de viagens futuras é bastante considerável, comprometendo a mobilidade na rede viária da cidade. Assim, seriam necessárias modificações no sistema de transportes públicos ou no uso do solo de forma a garantir melhoria nos serviços oferecidos e na qualidade de vida da população.

Carrara (2007) pesquisou a opção de criar um terminal logístico na cidade de Uberlândia/MG com foco na minimização dos custos de transporte e na redução de problemas existentes no núcleo urbano da cidade, ocasionados principalmente pela movimentação dos

---

<sup>3</sup> Instrumento básico da política de desenvolvimento do Município. Sua principal finalidade é orientar a atuação do poder público e da iniciativa privada na construção dos espaços urbano e rural na oferta dos serviços públicos essenciais, visando assegurar melhores condições de vida para a população.

veículos de carga. O TransCAD, mesmo com algumas limitações (as paradas com demandas superiores à capacidade dos veículos não estava sendo atendidas, pois o programa não “entendia” que se poderia enviar mais de um veículo ou o mesmo veículo poderia fazer mais de uma viagem até completar a demanda exigida), contribuiu para o alcance dos objetivos propostos. Segundo a autora, o *software* pôde ser validado para o uso na busca de soluções ótimas para os terminais logísticos e na roteirização dos veículos que compunham a frota dos terminais, apresentando-se como uma ferramenta para operações logísticas.

Lopes Filho (2003) realizou uma avaliação da previsão de demanda por transportes no município de Fortaleza/CE. A pesquisa buscou responder a duas perguntas: (a) quão capazes foram os planejadores de prever, no final da década de 1970, a evolução do sistema urbano de Fortaleza, sem a ajuda de um ferramental analítico de previsão da demanda por transportes; (b) quanto melhor eles poderiam ter se aproximado do cenário real com a ajuda de uma ferramenta, como o TransCAD. A pesquisa mostrou que a demanda prevista empiricamente pelos planejadores foi superestimada para o ano-horizonte. A demanda simulada também foi superior à observada para o ano-horizonte, mesmo com a aplicação de modelos agregados calibrados com os dados coletados no final da década de 1970 e alimentados com valores que refletiam a evolução real das variáveis socioeconômicas. O autor concluiu que a falta de uma retroalimentação constante de dados, assim como a falta de um efetivo controle do uso do solo, dentre outros fatores, dificulta a realização do planejamento de um sistema de transportes de longo prazo.

Zamorano *et al.* (2008) utilizaram um SIG-T para avaliar a localização de um aterro sanitário na cidade de Granada (sul da Espanha) e monitorar a sua operação. Foram considerados para as análises fatores ambientais como: hidrografia superficial e subterrânea, qualidade do ar, pedologia e saúde humana. De acordo com as variáveis consideradas na pesquisa, os autores concluíram que o aterro sanitário está localizado em uma área ambientalmente adequada. Yang *et al.* (2008) também realizaram um estudo semelhante para avaliar a adequação de aterros sanitários localizados na área metropolitana de Jiangsu (China). Os autores concluíram que quatro dos cinco aterros analisados estão localizados em áreas inadequadas e apresentam um perigo potencial à saúde humana e ao meio ambiente.

A Figura 2.10 apresenta uma aplicação real de um SIG-T utilizado para o acompanhamento do tráfego de veículos na cidade de Belo Horizonte/MG. Por meio do portal Infotráfego, disponibilizado pela prefeitura municipal da cidade, pode-se verificar qual a situação do trânsito na área central de Belo Horizonte. Um dos objetivos da implantação desta

funcionalidade é permitir ao usuário tomar uma decisão antecipada com relação à rota a ser percorrida. O motorista poderá optar por um trajeto menos congestionado, que evitará o aumento do fluxo lento/retido e irá refletir na circulação pela cidade.

Domingues e Françaço (2008) afirmam que o geoprocessamento confere ao gestor público uma leitura da realidade espacial urbana, permitindo a visualização e a manipulação de dados de diferentes fontes (processamento digital de imagem, cartografia digital, SIG etc.) capazes de contribuir para o direcionamento e a racionalização dos recursos públicos. Halliday (2003) também defende o uso de tecnologias de ponta para formular hipóteses e avaliar cenários dentro das atividades da administração pública, destacando-se neste trabalho os serviços de coleta e transporte dos RSU.



Figura 2.10 - Utilização de um SIG-T no acompanhamento de tráfego  
Fonte: BHTRANS - InfoTráfego <<http://infotrafego.pbh.gov.br>>

#### 2.4.2. A Roteirização de Veículos

Os problemas de roteirização pertencem a uma categoria ampla da Pesquisa Operacional, conhecida como Problemas de Otimização em Rede. Segundo Cunha (2000), a expressão “roteirização (roteamento) de veículos”, embora não encontrada nos dicionários de língua portuguesa, é a forma que vem sendo utilizada como equivalente ao inglês *routing* (ou *routeing*) para designar o processo para a determinação de um ou mais roteiros ou sequências de paradas a serem cumpridos por veículos de uma frota, objetivando visitar um conjunto de

pontos geograficamente dispersos, em locais pré-determinados, que necessitam de atendimento. Para Martinhon, Lucena e Maculan (2004) o Problema de Roteirização de Veículos (PRV) é o nome genérico atribuído a uma classe vasta de problemas envolvendo a coleta e a distribuição física de mercadorias, serviços, informações e pessoas.

Partyka e Hall (2000) afirmam que um problema real de roteirização é definido por três fatores fundamentais: decisões, objetivos e restrições. As **decisões** dizem respeito à alocação dos clientes (demanda) que devem ser visitados e ao conjunto de veículos e respectivos motoristas, a programação e o sequenciamento das visitas. O principal **objetivo** do processo de roteirização é propiciar um serviço de alto nível aos clientes, mas ao mesmo tempo, os custos operacionais e de capital devem ser reduzidos o quanto possível. As rotas devem satisfazer às **restrições**, que dizem respeito ao horário para entrega e/ou coleta de mercadorias, a capacidade dos veículos de entrega, aos recursos disponíveis, às regulamentações etc.

Para Ballou (2006) o Problema de Roteirização de Veículos (PRV) permite, durante a sua resolução, a inclusão de restrições e características realistas, entre elas: (1) cada rota pode incluir tanto a coleta quanto a entrega de volumes; (2) múltiplos veículos com capacidade limitada tanto de peso quanto de volume podem ser considerados; (3) restrições quanto ao tempo máximo de tráfego em cada rota antes de um período de repouso ou a existência de escalas que permitam a coleta e entrega apenas em determinados períodos do dia. No entanto, o autor ressalta que tais restrições e peculiaridades representam um acréscimo de complexidade ao problema que dificultam a busca pelas soluções ótimas.

Dentre as várias aplicações dos PRV tem-se o sistema de coleta de RSU. Em geral, três objetivos podem ser considerados para a coleta de resíduos: (1) minimizar a distância total de coleta; (2) minimizar o custo total de coleta; (3) minimizar o tempo total de coleta (CHANG, 1997). A operação de coleta envolve desde a saída do veículo de sua garagem, incluindo todo o percurso da viagem para remoção dos resíduos dos locais de acondicionamento aos locais de descarga, até o retorno deste veículo ao ponto de partida (CUNHA e CAIXETA FILHO, 2002).

Neste contexto, planejar de forma eficiente a programação dos veículos de coleta deve ser uma das preocupações dos gestores, pois os efeitos nos custos dos transportes são significativos, especificamente no caso da LR, onde esses valores podem ser mais elevados (KARA, RUGRUNGRUAN e KAEBERNICK, 2007). Desta forma, um dos motivos para o sucesso da utilização dos SIG neste setor é de ordem econômica, uma vez que rotas bem

definidas podem proporcionar redução de custos, aumento da produtividade e maior controle da operação de sistemas de transporte (BRITO, 2006; LI, BORENSTEIN e MIRCHANDANI, 2008).

Segundo Deluqui (2003), o estabelecimento dos roteiros e dos setores de coleta para os RSU tem sido feito manualmente em grande parte dos municípios brasileiros, baseado na prática da equipe de trabalho. Assim, verifica-se a oportunidade para a utilização de um SIG-T, como já realizada em algumas cidades, que vem empregando tecnologias de geoprocessamento, tanto como ferramenta de apoio à tomada de decisão espacial como ferramenta para suporte às atividades operacionais (MONTEIRO, 2007). Santos, Rodrigues e Current (2008) ressaltam que a otimização das rotas é computacionalmente difícil de alcançar para os problemas reais. Como consequência, a concepção e implementação de algoritmos de solução exatos e heurísticas para os problemas tem sido uma importante linha de pesquisa no campo da pesquisa operacional.

Em geral, considera-se no PRV que cada veículo parte de um depósito, realiza uma rota (entrega e/ou coleta) com múltiplos pontos de paradas e retorna para o depósito de onde partiu. No entanto, quando o veículo tem sua capacidade de carga completada, como pode ocorrer na coleta dos RSU, considerar o local de descarga não é uma questão simples. Quando há mais do que um ponto de disposição (descarga) o problema é mais complicado, uma vez que é necessário determinar qual a localidade usar e quando usá-la. Outra questão é a consideração da pausa para a refeição, que pode alterar a configuração das rotas e dos pontos de visitas. A qualidade final de uma rota também depende da forma como as paradas são agrupadas. Uma solução em que muitas rotas cruzam-se entre si é menos indicada do que aquela em que não há sobreposição de rotas (KIM, KIM e SAHOO, 2006).

### **2.4.3. Aplicações no sistema de coleta dos Resíduos Sólidos Urbanos**

Como o foco deste trabalho é a logística reversa dos materiais recicláveis presentes nos RSU serão listados neste tópico alguns exemplos e conclusões específicas da utilização dos SIG neste setor. Ghose, Dikshit e Sharma (2006) utilizaram um SIG visando alcançar reduções nos custos e nas distâncias percorridas no transporte dos RSU, incluindo o trajeto desde a coleta na fonte geradora até seu destino final, em um aterro sanitário, no Estado de Bengala Ocidental (Índia). Os autores concluíram que os administradores locais poderiam utilizar as ferramentas do SIG para apoiar a tomada de decisão e para obter uma maior eficiência na GRSU, por meio do balanceamento das cargas dos veículos de coleta, da gestão

do consumo de combustível, da programação dos veículos e dos horários de trabalho dos funcionários.

Johansson (2006) utilizou dados em tempo real para avaliar e comparar a programação e a política de roteirização dos veículos de coleta e transporte dos RSU em uma cidade sueca. Segundo o autor, na Suécia, desde 1994, os produtores, importadores e vendedores são responsáveis pela destinação final das embalagens dos produtos comercializados no país. As empresas contratadas para efetuar o serviço de coleta desses materiais, visando uma melhor qualidade dos serviços, equiparam seus *containers* com sensores de nível e de comunicação sem fio, que operam da seguinte forma:

- Um sensor, constituído de quatro raios de luz infravermelha, é montado sob a tampa do recipiente e é ativado uma vez a cada hora para avaliar o nível capacidade do *container*. Se três dos quatro feixes são “quebrados”, um alarme é gerado e transmitido através da rede GSM (*Global System for Mobile Communications*), em que uma mensagem é enviada automaticamente para o operador que realiza a coleta dos resíduos. Um segundo alarme é gerado, quando os quatro feixes são “quebrados”, para alertar quanto à necessidade da coleta dos RSU. Um sinal de reinicializar o sistema é enviado quando um sensor de inclinação indica que o *container* foi esvaziado.

O autor concluiu que a programação e política de roteirização dinâmicas, com dados em tempo real, apresentaram menores custos operacionais, redução nas distâncias percorridas para a coleta/transporte dos materiais e diminuição das horas de trabalho dispensadas para a mão de obra quando comparados à política estática com rotas fixas e pré-determinadas. Outra questão observada na roteirização dinâmica foi um maior potencial para a redução de custos em face da irregularidade da demanda.

Brasileiro e Lacerda (2008) realizaram uma análise do uso do TransCAD para a roteirização de veículos de coleta dos RSU na cidade de Ilha Solteira/SP. A aplicação do SIG apresentou reduções percentuais de até 41% na distância total percorrida e de 68% no tempo total de percurso quando comparados com os dados do serviço real. Segundo os autores, dentre as vantagens da utilização do *software* para roteirização de veículos na coleta dos RSU, pode-se citar:

- A produção de uma solução de roteirização em menor tempo;
- A utilização de valores reais de distância e tempo de percurso em toda a rede viária;

- A possibilidade de análise de mudança dos valores das variáveis, tais como a frota de veículos e período de operação;
- A possibilidade de análise de mudança de restrições, tais como capacidade dos veículos e regras de tráfego.

Por outro lado, os autores citaram que a utilização do TransCAD apresentou uma desvantagem quanto à rotina *Arc Routing* não considerar o local de descarga na roteirização do veículo de coleta. Assim, foi necessário utilizar os procedimentos de caminho mínimo (*shortest path*) para adicionar as distâncias não contabilizadas para o descarregamento e retorno para a rota. Como conclusão, afirmaram que a aplicabilidade de um SIG deve ser analisada não somente pelo aspecto econômico, mas também pelo aspecto ambiental a que estão relacionados os resíduos sólidos domiciliares, já que um eficiente sistema de coleta deve minimizar todo tipo de poluição, seja do solo, ar ou água. Além disto, um sistema eficiente de coleta e transporte de resíduos sólidos urbanos deve ajudar a melhorar o aspecto estético da cidade, a fim de tornar mais agradável a vida de seus moradores, evitando a poluição visual.

Braga *et al.* (2008) apresentaram o caso da cidade de Manaus, onde no ano de 2005 foi iniciado um projeto para a utilização do geoprocessamento com o intuito de monitorar e planejar, com informações mais precisas, os serviços prestados pela Secretaria Municipal de Limpeza e Serviços Públicos. Os autores, ao analisarem as informações disponíveis no relatório de gestão, referente ao ano de 2004, constataram que existiam informações superestimadas, como por exemplo: era mencionado no relatório que a extensão total das ruas varridas era de aproximadamente 800 km, no entanto, com a utilização do SIG, identificaram que os roteiros de varrição tinham extensão linear menor que 200 km. Os autores também ressaltaram a importância da utilização do geoprocessamento nos setores públicos, pois possibilita a geração de informações mais confiáveis que subsidiem à tomada de decisão e para o monitoramento dos serviços prestados.

Apaydin e Gonullu (2007) desenvolveram um estudo com o objetivo de otimizar as rotas dos veículos de coleta dos RSU, na cidade de Trabzon (localizada no nordeste da Turquia), em que o acondicionamento dos resíduos é feito por meio de *containers*. Para a pesquisa foram obtidos dados sobre a rede viária da cidade, a demografia e a produção de resíduos sólidos. Segundo os autores, aproximadamente 85% dos custos totais demandados para o gerenciamento dos resíduos sólidos são destinados para as atividades de coleta e transporte desses materiais. Os resultados gerados no SIG, ao serem comparados com os dados reais das rotas da cidade, apresentaram reduções de 24,7% na distância total percorrida

e 44,3% no tempo demandado para a coleta dos resíduos, o que resultaria em uma redução de 24% nos custos com coleta/transporte.

Roviriego (2005) realizou um estudo sobre os custos para a implantação e manutenção de três tipos de sistemas de coleta seletiva na cidade de São Carlos/SP utilizando o TransCAD. Dentre suas conclusões, destaca-se: o sistema porta-a-porta, que tem seu ponto fraco na maior distância percorrida pelo veículo de coleta, mostrou-se mais eficiente em cidades de pequeno a médio porte, onde as distâncias entre o depósito (descarregamento dos resíduos) e as áreas de coleta não são tão grandes, assim como as distâncias percorridas pelo veículo na operação de coleta. Com relação aos custos, o sistema de coleta por meio de PEVs, apresentou-se como o mais caro, devido ao custo de aquisição, manutenção e depreciação dos *containers*, que aumentam proporcionalmente com o aumento da demanda.

#### **2.4.4. Localização de Atividades**

O problema de roteirização de veículos está diretamente relacionado à solução de problemas de localização, que tratam de decisões sobre onde instalar atividades (ou facilidades), considerando clientes que devam ser servidos. O termo “atividades” pode ser substituído por fábricas, depósitos, escolas etc., enquanto que clientes se referem a depósitos, unidades de vendas, estudantes etc. Em geral, as atividades podem tanto ser selecionadas como centros a serem abertos como podem também ser alocados a um conjunto de centros já existentes, que neste caso, recebem a denominação de problema de localização-alocação, devido ao processo de destinar clientes aos centros abertos (BARÃO, 2008).

Os problemas de localização como um todo tratam de decisões sobre onde localizar instalações, considerando clientes que devem ser servidos de forma a otimizar algum critério (LIMA, 2003). O principal objetivo da decisão de localização é atingir um equilíbrio adequado entre três variáveis interligadas: (1) custos espacialmente variáveis da operação; (2) serviços que a operação é capaz de prestar a seus clientes; (3) receitas potenciais da operação. Ao tomar decisões sobre a localização de uma operação, os gerentes preocupam-se em minimizar os custos espacialmente variáveis e analisar receitas/serviços aos clientes (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2002). No geral, as decisões sobre localização são para longo prazo, o que caracteriza seu enfoque estratégico e afeta as operações do sistema logístico como um todo (CHENG e LI, 2004; ROMERO, 2006; BALLOU, 2006).

O estudo sobre a teoria de localização teve início em 1909, com Alfred Weber, que abordou o problema de onde localizar um armazém de forma a minimizar a distância total



entre os clientes. Mas, foi a partir de 1960, diante de sua importância estratégica, que uma grande variedade de problemas de localização emergiu. Desde então, muitos modelos têm sido construídos para apoiar no processo decisório, que não são apenas espacial e temporal, mas também econômicos (ABBASI, 2003; ARAMPATZIS *et al.*, 2004). Porém, Hamad (2006) destaca que muitos trabalhos publicados referentes ao tema foram desenvolvidos para estudos acadêmicos, mas com aplicações práticas esporádicas, ou seja, poucos modelos criados em ambiente acadêmico evoluíram para aplicações comerciais.

Os modelos matemáticos são um dos principais métodos utilizados para resolver problemas de localização. Basicamente, dividem-se em três tipos: (1) problemas de localização estática e determinista: visam representar o estado de um sistema em um instante, sem levar em conta a variável tempo e não utilizam variáveis aleatórias; (2) problemas de localização dinâmica: envolvem decisões em um horizonte de planejamento, considerando a variação da demanda ao longo do tempo; (3) problemas de localização estocástica: refletem a incerteza de parâmetros tais como demanda, tempos de viagem e custos (OWEN e DASKIN, 1998). Devido à complexidade matemática e computacional, grande parte das pesquisas sobre localização concentrou-se em problemas estáticos e determinísticos. Porém, a modelagem dinâmica e estocástica tem aumentado nos últimos anos.

Prado (2007) apresenta uma classe dos modelos de localização que considera aspectos integrados dos problemas de logística. São eles:

- Modelos de Localização-Roteamento: possui um enfoque hierárquico, em que o objetivo é resolver o problema de localização (problema mestre) e, para tal, é necessário resolver simultaneamente o problema de roteamento de veículos (subproblema). Uma crítica a essa abordagem integrada é devido à combinação do problema estratégico de localização com o problema tático de planejamento de rotas, isso é, problemas com diferentes horizontes de planejamento. Autores que defendem esse modelo argumentam que o enfoque integrado leva à redução de custos em um planejamento de longo prazo.
- Modelos de Projetos de Redes: os problemas que combinam localização de atividades com projeto de redes são utilizados em situações em que há um compromisso entre custos da localização das atividades, custos de projeto de redes e custos de operação. São contextos em que é mais econômico reconfigurar a rede do que abrir novas facilidades, comumente encontrados em telecomunicações,

planejamentos regionais, redes de companhias aéreas; redes de transmissão, entre outras aplicações.

#### **2.4.5. A Localização de Atividades na coleta dos Resíduos Sólidos Urbanos**

Ao considerar o problema de implantar um sistema de coleta de RSU, em que o objetivo é localizar um conjunto de pontos para a instalação de lixeiras/*containers*, duas características principais devem ser observadas: (1) o número de pontos de entrega é diretamente proporcional às perturbações (como a perturbação sonora, na fase da coleta), aos impactos visuais e aos custos totais; (2) o objetivo é garantir que a máxima distância entre os usuários e os pontos de entrega permita a qualidade do serviço oferecido, de modo que os moradores contribuam com a fase de separação e disposição dos resíduos.

Corroborando a ideia supracitada, no caso da implantação da coleta seletiva, o sucesso do programa está fortemente associado ao número e localização dos pontos de entrega (facilidade de acesso), assim como a participação da população (CHANG e WEI, 2000; GONZALEZ-TORRE, ADENSO-DIAZ e RUIZ-TORRES, 2003). McDougall *et al.* (2001) destacam que a elevação do número de pontos de entrega certamente aumentará as taxas de participação da população e, conseqüentemente, a recuperação de materiais recicláveis. Mas, por outro lado, pode comprometer a viabilidade da operação, uma vez que o custo econômico adicional e o passivo ambiental gerado no processo (como o maior consumo de combustível pelo veículo coletor) podem vir a exceder os ganhos gerais do programa.

Outro parâmetro que influencia no problema de localização em programas de coleta seletiva é capacidade dos *containers* utilizados, que pode afetar a frequência da coleta, o número dos pontos e a quantidade de materiais coletados. Desta forma, na sequência serão listadas algumas pesquisas que utilizaram o SIG e estimaram valores relativos aos volumes dos *containers*, distâncias entre os PEVs (pontos de entrega), frequência da coleta, entre outras características dos programas de coleta seletiva, apresentadas tanto para simulações de cenários futuros como em casos já implementados:

- Roviriego (2005) adotou em seu trabalho que a distância entre os PEVs e os usuários não poderia exceder 250 metros, uma vez que os brasileiros não estão habituados culturalmente a tal tipo de coleta, já que a coleta convencional geralmente é a porta-a-porta. O autor concluiu que o melhor método de coleta sempre estará ligado às características do local em que será implantado;

- Em uma pesquisa sobre o sistema de coleta seletiva na cidade de Vitória/ES, Bringhenti *et al.* (2004) sugeriram a instalação de *containers* com volume de 2,5 m<sup>3</sup>, um deslocamento máximo de 500 metros dos usuários até os PEVs e a frequência da coleta de duas vezes por semana;
- Peixoto, Campos e D'Agosto (2006), após realizarem uma revisão na literatura, concluíram que para incentivar a participação da população nos programas de coleta seletiva, a distância ideal entre os usuários e os PEVs deveria ser de 300 metros.
- Em Churriana de la Vega (Granada), uma cidade espanhola com 10.228 habitantes, foram simulados cenários em que o volume dos recipientes destinados ao acondicionamento dos materiais recicláveis era de 3 m<sup>3</sup> e a distância entre os PEVs e os usuários do sistema não deveria ser superior a 250 metros (ZAMORANO *et al.*, 2009).
- Alvarez *et al.* (2009) também realizaram um estudo em uma região localizada na Espanha, conhecida como Aranjuez (situada ao sul de Madrid) com 41.897 habitantes. Os autores concluíram, após análises comparativas entre diferentes raios de cobertura para a localização de *containers*, que o melhor cenário era aquele em que o alcance do programa de coleta seletiva estaria inserido em raio de 150 metros ao redor dos pontos selecionados para a instalação dos *containers*, cuja capacidade era de 2,7 m<sup>3</sup>.
- Vijay *et al.* (2008) utilizaram um SIG para sugerir a localização e o número de *containers* que poderiam ser instalados para a otimização da coleta dos RSU em uma região da Índia. Dentre as conclusões, os autores destacaram que, onde a coleta de resíduos é realizada por meio de pontos de entrega, a efetividade do sistema depende principalmente da decisão de escolher os locais apropriados para a instalação dos *containers*, da adequada estimativa da geração de resíduos e da capacidade de armazenamento de cada recipiente. Outro fator considerado relevante foi o critério “distância” que, segundo o manual de gestão dos RSU existente na Índia, não pode ser superior a 500 metros entre os pontos de entrega.

De acordo a explanação anterior, o planejamento dos programas de coleta seletiva envolve a determinação de inúmeros critérios e pode variar conforme as características locais. Um ponto comum observado nesses trabalhos é o potencial de utilização dos SIG para a geração de cenários e para a realização de análises comparativas, que visa discutir as diversas alternativas para a implantação de programas de coleta seletiva. Monteiro (2007), ao se referir especificamente às administrações municipais, afirma que os SIG vêm sendo cada vez mais incorporados como ferramenta de apoio à tomada de decisão e como suporte às diversas atividades operacionais. Porém, o autor destaca a necessidade da existência de mapas

atualizados e dados georeferenciados nas prefeituras, pois normalmente a aquisição/montagem de um banco de dados corresponde à grande parte dos custos e tempo gastos para a realização de cenários e análises no SIG, que, se desvinculado de entradas atualizadas e consistentes, torna-se pouco eficiente.

### 3. METODOLOGIA DE PESQUISA

*Este capítulo apresenta a metodologia de pesquisa adotada neste trabalho. Assim, primeiramente tem-se a Classificação da Pesquisa, onde são descritos a Natureza; os Objetivos; o Método; e a forma de abordar o problema. Especificamente para o método de pesquisa, **Modelagem e Simulação**, são detalhados as etapas e procedimentos seguidos, dentre eles a coleta de dados, realizada com o auxílio de um aparelho **GPS**. De posse dos dados, parte-se para a elaboração dos **Cenários** e execução da rotina de Localização e Roteirização de Veículos no software **TransCAD**.*

Segundo Rodrigues (2005), a Metodologia Científica é um conjunto de etapas ordenadamente dispostas que devem ser executadas na investigação de um fenômeno, que inclui a escolha do tema; a exploração do problema; a adoção de um método<sup>4</sup> de análise e solução do problema; a coleta e a tabulação de dados; a apresentação dos resultados; a análise e discussão dos resultados; a elaboração das conclusões e recomendações; a divulgação de resultados. Para a autora, a metodologia deve ser exposta de modo suficientemente claro e detalhado, para que o leitor seja capaz de reproduzir, se necessário for, o aspecto essencial do estudo.

#### 3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Na literatura acadêmica existem opiniões divergentes referentes à forma de como classificar uma pesquisa científica. Neste trabalho, o que foi adotado como o “método de pesquisa”, por exemplo, em outros estudos já foi denominado de “estratégia de pesquisa” ou “procedimentos técnicos”. Desta forma, a classificação adotada nesta dissertação, apresentada a seguir, foi baseada nas formas mais comumente encontradas nos trabalhos pesquisados.

##### ➤ **Natureza → Aplicada**

De acordo com Barros e Lehfeld (2000, p. 78), a pesquisa aplicada tem como motivação a necessidade de produzir conhecimento para aplicação de seus resultados, com o intuito de “contribuir para fins práticos”. Appolinário (2004, p. 152) salienta que pesquisas aplicadas têm o objetivo de “resolver problemas ou necessidades concretas e imediatas.” A realidade que será descrita nesta pesquisa refere-se ao objeto de estudo, uma associação de catadores de materiais recicláveis, que constitui a base da cadeia reversa da reciclagem. Em

---

<sup>4</sup> Conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo do estudo, gerar conhecimentos válidos e verdadeiros (MARCONI e LAKATOS, 2007).

relação à aplicação prática deste trabalho, espera-se que as propostas e análises realizadas contribuam para melhorias do atual sistema de coleta seletiva da associação e da cidade.

➤ **Objetivos → Descritiva**

A pesquisa descritiva é marcada por um enunciado claro do problema, por hipóteses específicas e pela necessidade detalhada de informações (MALHOTRA, 2006). De acordo com Gil (2007), busca descrever as principais características de determinado fenômeno ou população que, na presente pesquisa, é a descrição das características do objeto de estudo e dos processos operacionais relativos ao sistema de coleta seletiva e transporte dos materiais recicláveis.

➤ **Método → Modelagem e Simulação**

Segundo Chung (2004), a modelagem e simulação é o processo de criar e experimentar um sistema (conjunto de processos que interagem e que recebem entradas e oferecem resultados para algum propósito), por meio de um modelo (representação da realidade) matemático computadorizado. Law e Kelton (2000) ressaltam que o modelo é usado como veículo para a experimentação e geralmente uma forma de tentativa e erro é utilizada para demonstrar os efeitos de várias políticas.

Corroborando a ideia, Chwif e Medina (2007) afirmam que a simulação permite avaliar e analisar sistemas reais a partir da construção de modelos computacionais, por meio dos quais pode-se responder a perguntas do tipo “o que aconteceria se” (*what if*), tornando-se assim uma poderosa ferramenta de apoio a tomada de decisão. Assim, conforme os objetivos deste trabalho, a principal razão para a utilização da modelagem e simulação é que este método permite a análise de um problema, a fim de encontrar soluções matemáticas, ótimas ou próximas ao ótimo global. Uma das vantagens de sua aplicação é que as propostas geradas podem auxiliar os tomadores de decisão no momento de suas escolhas, principalmente quando aplicado a problemas complexos.

➤ **Forma de abordar o problema → Quantitativa → Empírica Descritiva**

Para Richardson (1999, p.70) a abordagem quantitativa “caracteriza-se pelo emprego de quantificação tanto nas modalidades de coleta de informações, quanto no tratamento delas por meio de técnicas estatísticas”. Raupp e Beuren (2003, p.93) declaram que “essa abordagem é frequentemente aplicada nos estudos descritivos, que procuram descobrir e classificar a relação entre variáveis e a relação de causalidade ente fenômenos”. Bertrand e

Fransoo (2002) reforçam a ideia de que a modelagem e simulação é um método de pesquisa principalmente quantitativo. Ainda segundo os autores, a pesquisa quantitativa é dividida em axiomática e empírica, sendo que cada uma é subdividida em normativa ou descritiva, como ilustrado na Figura 3.1.

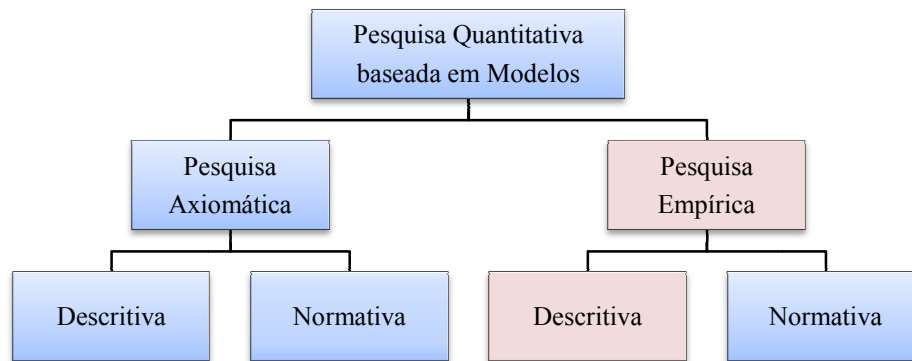


Figura 3.1- Classificação da pesquisa quantitativa  
Fonte: Bertrand e Fransoo (2002)

- A pesquisa **axiomática** é guiada por um modelo idealizado, ou seja, formulado a partir da literatura. O saber é gerado pelo aprofundamento no conhecimento do comportamento de certas variáveis, assumindo o comportamento estático das outras variáveis que compõem o modelo. Já a pesquisa **empírica** baseia-se em dados reais. O objetivo principal é assegurar que há um ajustamento das observações e ações reais do objeto de estudo e do modelo feito de sua realidade.
  - A subdivisão **normativa** está interessada em propor políticas, estratégias e ações. Esse tipo de modelo estabelece normas para aprimorar a situação atual (real). Já a abordagem **descritiva** está focada na descrição adequada das relações causais que podem existir na realidade e levem ao entendimento do processo em estudo.

### 3.2. MODELAGEM E SIMULAÇÃO NO SIG

Para Chwif (1999), o modelo de simulação é uma abstração da realidade. O objetivo é aproximar-se, o quanto possível, do verdadeiro comportamento do sistema, porém, sempre mais simples do que o sistema real. Segundo o autor, para o desenvolvimento de um modelo, três grandes etapas devem ser cumpridas, como mostra a Figura 3.2.

- Na primeira etapa - concepção ou formulação do modelo conceitual - deve-se entender claramente o sistema a ser simulado. De acordo com Robinson (2004) o modelo conceitual é uma descrição específica do modelo de simulação, não se importando com o *software*,

definindo os objetivos, as entradas, as saídas esperadas, os conteúdos, as suposições e as simplificações do modelo.

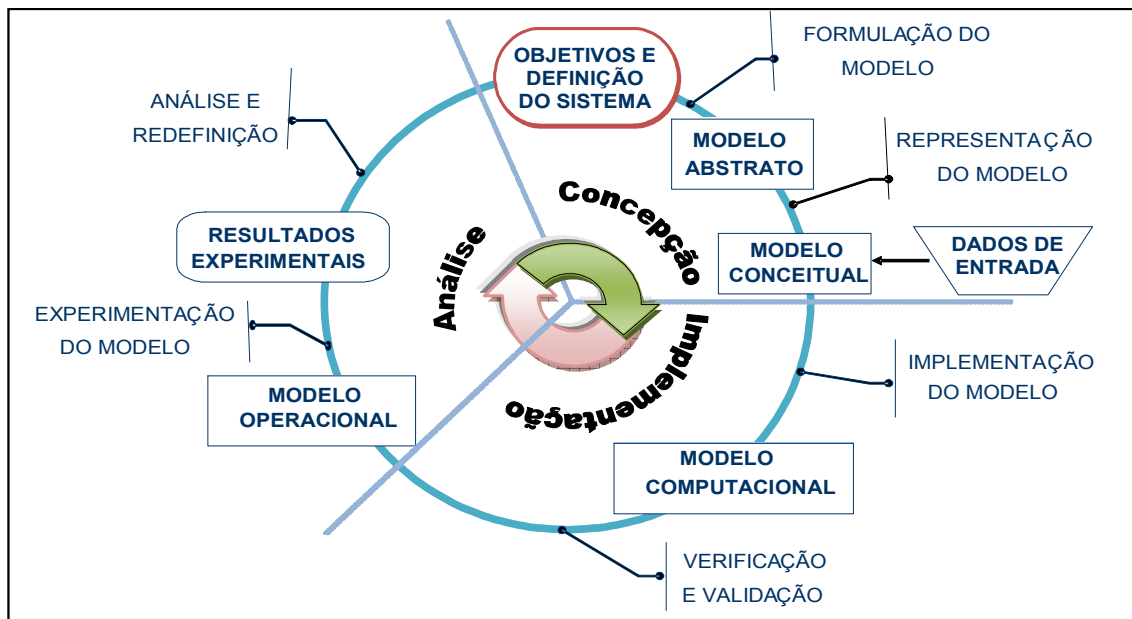


Figura 3.2 - Sequência de passos para a simulação

Fonte: Chwif (1999)

- Na segunda etapa - implementação do modelo - o modelo conceitual é convertido no modelo computacional. A natureza desta etapa irá depender, em grande parte, do *software* escolhido para a simulação. A passagem do conceitual para o computacional acontece por procedimentos que estabelecem relacionamentos entre as entidades (definida como um objeto contido no arquivo gerado), o qual possui informações a elas vinculadas. Como, neste caso, o *software* utilizado será um SIG-T, as entidades deverão relacionar-se geograficamente e poderão ou não participar do processamento dos dados no sistema (FITZ, 2008). Robinson (2004) recomenda que o modelo computacional deve ser desenvolvido de forma incremental, documentando-o e testando-o a cada passo, de forma que os erros possam ser identificados previamente.

Após a construção do modelo computacional, alguns resultados devem ser gerados para sua verificação e validação, pois se o mesmo não for uma representação próxima do sistema real, todas as conclusões dele derivadas estarão susceptíveis a erros e poderão resultar em decisões incorretas. De acordo com Sargent (2008) a verificação visa assegurar que o programa computacional e sua implementação estejam corretos, já a validação é a determinação de que o comportamento do modelo simulado detém precisão suficiente para representar a realidade. Nesta pesquisa, para a validação e verificação, foram realizados testes e avaliações a partir da comparação entre dados históricos do sistema real com os resultados



obtidos pelo modelo, assim como por meio do contato direto com as pessoas envolvidas com o objeto de estudo.

- Na terceira etapa - análise dos resultados do modelo - o modelo computacional (digital virtual) está pronto para a realização dos experimentos, dando origem ao modelo operacional. Para Robinson (2004), uma vez desenvolvido o modelo, experimentações são realizadas para se obter um melhor entendimento do mundo real ou para encontrar soluções e tomar decisões acerca de problemas existentes. Trata-se de um processo de análise conhecido como *what if*, ou seja, são realizadas alterações nas variáveis de entrada do modelo e analisam-se os resultados gerados. As alterações podem ser feitas sucessivamente para novas experimentações. Se necessário, caso o resultado da simulação não seja satisfatório, o modelo pode ser modificado, e este ciclo deve ser reiniciado.

De acordo com Mitroff *et al.* (1974), considerada a mais antiga contribuição para a discussão sobre metodologia em simulação, é apresentada uma quarta etapa, denominada “implementação”. Robinson (2004) afirma que a implementação pode ser interpretada de três formas:

- 1) A implementação das descobertas do estudo de simulação no mundo real - no processo de implementação são os clientes que determinam quais das recomendações do estudo de simulação serão colocadas em prática no mundo real;
- 2) A implementação do modelo ao invés de suas descobertas - entrega-se uma cópia do estudo de simulação desenvolvido ao cliente, de forma que ele possa rodar o modelo no momento em que achar mais oportuno ou que necessitar dos resultados para tomar uma decisão. Neste caso, é necessária a documentação adequada do modelo e o treinamento dos clientes para sua correta utilização;
- 3) Interpretar a implementação como um aprendizado, que pode ser colocada em prática apenas em uma tomada de decisão futura - um maior entendimento do mundo real não apenas a partir dos resultados dos experimentos da simulação, mas de todo o processo de desenvolvimento e uso do modelo de simulação.

Embora esta pesquisa tenha teor acadêmico, espera-se poder contribuir para a associação de catadores, objeto de estudo deste trabalho, de modo a proporcionar-lhe uma visão holística de seu sistema de coleta e transporte e melhores resultados operacionais.

### 3.2.1. Etapas e procedimentos

Para atingir os objetivos desta pesquisa, as etapas e procedimentos que foram seguidos estão descritas a seguir:

#### I) Coleta de dados

A coleta de dados foi realizada por meio de entrevistas, observações diretas no objeto de estudo - Associação de Catadores Itajubenses de Materiais Recicláveis (ACIMAR) - e, para auxiliar na obtenção de dados (georeferenciados) concernente ao sistema de coleta e transporte da ACIMAR, utilizou-se um aparelho GPS (Garmin Oregon 300). O mapeamento de cada roteiro, por meio do GPS, foi conduzido pela pesquisadora junto ao caminhão da coleta seletiva. Assim, foram levantados todos os pontos de parada do veículo, os bairros correspondentes a cada um deles, as distâncias e os tempos totais de cada trajeto, as velocidades nas vias etc. A obtenção de dados sobre cada um dos roteiros da ACIMAR ocorreu mais de uma vez, de modo a observar possíveis variações nos trajetos. No Quadro 3.1 são detalhados os principais dados que foram coletados para a realização da modelagem e simulação no TransCAD, assim como os necessários para executar as rotinas de roteirização e localização.

OBJETIVO	INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS	
1) Informações básicas do funcionamento sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Localização do depósito</li> <li>- Frota de veículos</li> <li>- Tipo de resíduos coletados</li> <li>- Volume total coletado</li> <li>- Abrangência da coleta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Frequência da coleta</li> <li>- Horário da coleta</li> <li>- Periodicidade da coleta</li> <li>- Ponto de disposição final</li> <li>- Equipe de trabalho</li> </ul>
2) Localização, Roteirização e Programação de veículos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mapa digital da cidade e sentido de tráfego das vias</li> <li>- Capacidade do veículo</li> <li>- Trajetos percorridos</li> <li>- Distância total percorrida por cada veículo de coleta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Velocidade nos trajetos</li> <li>- Restrição de janela de tempo</li> <li>- Pontos de passagem obrigatórios</li> <li>- Sequência de visitas</li> <li>- Tempo gasto em cada trajeto</li> <li>- Volume coletado em cada trajeto</li> </ul>

Quadro 3.1- Dados coletados no levantamento de campo

Com os dados coletados, os arquivos gerados pelo GPS foram tratados no *software* GPS Trackmaker PRO e convertidos para um arquivo compatível com TransCAD, formato *shapefile* (SHP). O mapa viário georeferenciado da cidade de Itajubá/MG, contendo as ruas e interseções (esquinas), foi obtido de projetos anteriores realizados na UNIFEI. Esse mapa contém as mãos de direção das vias (*dir*) e é por meio dele que foi criada a rede de transportes (*network*). Brasileiro (2004) descreve as redes como estruturas especializadas que representam as regras que gerenciam as viagens sobre a rede viária, como são usadas no

processamento dos dados (encontrar rotas, calcular distâncias e tempos de viagens etc.). É necessário o preenchimento de campos como o tempo de viagem e velocidade de deslocamento. A conexão de todos os arcos da rede foi testada por meio da opção *Tools* → *Map Editing* → *Check Line Layer Connectivity*.

## II) Localização de Atividades

Os principais passos seguidos para a execução da rotina de localização de atividades (*facility Location*) estão descritos a seguir:

- 1) Criar uma camada (*layer*) de pontos contendo as atividades (*Facility*) → contém as instalações existentes e os locais candidatos a novas instalações. No TransCAD podem-se utilizar camadas distintas ou uma única camada que reúna todas as informações relativas aos clientes, instalações existentes e candidatas à abertura de novas instalações. Optou-se neste trabalho por uma camada distinta entre os clientes e as instalações.
- 2) Criar uma camada de pontos dos clientes → contém a localização e informações dos clientes a serem servidos.
- 3) Criar a matriz de custos → entrada primária para o procedimento de localização de atividades. Ela armazena os valores dos custos de transporte entre todas as instalações existentes, candidatas e todos os clientes a serem servidos pelas instalações. Especificamente neste trabalho, os custos de transportes correspondem à distância percorrida na rede viária, assim o intuito é escolher o menor caminho. Todas as análises, na busca pela melhor localização, são feitas com base nos dados da matriz de custo: construída a partir da rede de trabalho (*Network*) e considera as características da origem (clientes) e do destino (instalações).
- 4) Aplicar a rotina *facility Location* → pode-se tanto indicar o número de instalações que deseja-se instalar (opção utilizada neste trabalho) ou delega-se para que o *software* determine o número de instalações que são necessárias para se alcançar a função objetivo. No total, quatro alternativas referentes ao objetivo são disponibilizadas pelo TransCAD: minimizar o custo médio de serviço - fornecer o melhor nível de serviço total aos clientes sem preocupar-se se o serviço a um cliente particular é muito pior que a média (alternativa adotada nesta pesquisa); minimizar o custo mais alto de serviço - fornecer o melhor serviço possível ao cliente que está o mais afastado do conjunto de instalações; maximizar o custo mais baixo de serviço - localizar instalações tal que estejam o mais longe possível do cliente mais próximo. Quando a alternativa “*As Many as needed*” estiver selecionada, a

última opção citada é substituída por maximizar lucros - escolher locais para aumentar a diferença entre as receitas e os custos. Após o preenchimento desses campos, deve-se completar os dados relativos às instalações existentes e/ou candidatas (pontos de entrega) e aos clientes (população). A distância (custo) não é o único fator que influencia diretamente nos resultados do problema de localização; a demanda associada a cada cliente (densidade demográfica) também pode ser levada em consideração, funcionando como um peso ou fator de atração na função objetivo (selecionar dentre os pontos de entrega quais locais deverão ser mantidos).

- 5) Mostrar os resultados → o TransCAD gera dois conjuntos de saídas após a realização da rotina de localização: (1) a localização das novas facilidades e a alocação dos clientes às instalações existentes e às novas instalações. Um novo conjunto (*New Facilities*) de seleção é criado no banco de dados e mostrado no mapa; (2) o SIG também gera uma tabela (*dataview*) que associa cada cliente a uma nova facilidade, ou a uma facilidade já existente, além de mostrar o custo do serviço associado àquela alocação.

### III) Problema de Roteirização de Veículos

**Roteirização em nós:** O problema de cobertura de nós é verificado quando a demanda pelo serviço de transporte ocorre em pontos distantes entre si. O objetivo é minimizar o percurso total e atender a todas as restrições. A partir da saída dos dados é possível analisar qual a rota mais eficiente dentre os cenários propostos. Há quatro passos principais que foram seguidos para modelar o problema de roteirização de veículos usando o TransCAD:

- 1) Preparar os dados de entrada dos arquivos geográficos → preencher os dados e atributos correspondentes à camada de linhas (velocidade e tempo gasto para percorrer a rede viária) e de pontos (nome, demanda em cada ponto, horários de atendimentos, tempo fixo e por unidade gasto em cada parada, capacidade do depósito e a coluna *NODE\_ID*, que representa o número do ID da interseção mais próxima ao depósito ou as paradas). Na camada de pontos também são identificadas as seleções para definir quais são os depósitos (*Depots*) e as paradas (*Stops*).
- 2) Criar a rede de transporte (*Networks/Paths - Create*) → na seção *Optional Fields* é preciso incluir o campo correspondente ao tempo (*time\_min*) necessário para percorrer a rede viária.
- 3) Solucionar o problema de roteirização de veículos (*Vehicle Routing*) → deve-se escolher o tipo de operação desejada - entrega e/ou coleta; preencher os dados relativos ao depósito:

selecionar onde o veículo inicia e termina suas viagens, horário de atendimento e capacidade; completar os dados relativos ao conjunto de paradas: tempos gastos, horário de atendimento e demanda; criar a matriz de roteirização - o *software* calcula o tempo e distância entre todas as paradas e os depósitos. Optou-se sempre pelo cálculo com base nas distâncias em rede e minimizar tempo de viagem; preparar o arquivo dos veículos utilizados (*vehicle table*) - dados relativos ao tipo, ao número de veículos, a capacidade e aos custos de transporte.

- 4) Resultados → no TransCAD, após a roteirização a janela *Results Summary* aparecerá com um sinal verde. Ao clicar em *Show Reports*, um arquivo texto mostrará, resumidamente, os resultados da rotina. Outras três saídas diferentes são geradas pelo software: (1) um arquivo texto, contendo o itinerário a ser seguido, a ordem de atendimento dos pontos, o tempo de chegada e de saída em cada parada, a distância percorrida, a carga total por veículo e a quantidade a ser coletada/entregue em cada ponto; (2) uma tabela com a listagem das paradas em cada rota, com o tipo de veículo, com o tempo de viagem, com a distância entre cada parada etc.; (3) as rotas produzidas podem ser convertidas em uma camada de arquivo geográfico e visualizadas no mapa, assim como os pontos de paradas também podem ser mostrados por meio de uma camada de pontos.

**Roteirização em Arcos:** o problema de cobertura de arcos ocorre quando os locais de visita são muito próximos entre si, gerando uma demanda ao longo das vias. Este tipo de problema consiste em determinar a rota de comprimento mínimo, que parte de um ponto de origem (garagem/depósito), percorre todos os arcos da rede pelo menos uma vez e volta à origem. Para realizar a aplicação da rotina *Arc Routing* foram realizadas, no geral, as seguintes etapas:

- 1) Inserir e identificar o depósito (início e fim de cada rota) no arquivo geográfico de nós, por meio de uma seleção;
- 2) Preencher os campos da base de dados do arquivo geográfico de linhas (vias da cidade), sendo que cada campo tem a sua descrição detalhada no Quadro 3.2;
- 3) Criar a rede de transportes (*Network*) → é necessário incluir na rede os campos *AB Service*, *BA Service*, *Depot*, *Service Time*, *Deadhead Time* e *Service/Deadhead load*;

Campo	Função
	→ 1: quando a via deve ser atendida.
<i>Service Flag AB/BA</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ruas de mão única: o preenchimento do campo <i>AB Service</i> ou <i>BA Service</i> depende da direção topológica do arco;</li> <li>▪ Ruas de mão dupla: a opção <i>Service Flag AB</i> foi preenchida em uma primeira rodada e, posteriormente a opção <i>BA Service</i> foi considerada para verificar diferenças nas distâncias e tempos nas rotas.</li> </ul>
	→ 0: quando a via não deve ser atendida.
<i>Service Time</i>	É o tempo médio gasto para realização do serviço na passagem de cada <i>link</i> .
<i>Deadhead Time</i>	É o tempo médio gasto nos <i>links</i> em que se não tem serviço de coleta.
<i>Service/Deadhead load</i>	Corresponde ao volume de materiais que serão recolhidos em cada <i>link</i> . Nos <i>links</i> que não são servidos ( <i>Deadhead</i> ) o valor inserido é zero.
<i>Depot</i>	Identificação (ID) do único depósito.

Quadro 3.2 - Base de dados de linha

- 4) Aplicação da rotina *Arc Routing* → preencher os dados relativos ao depósito e a rede de transporte: escolheu-se como objetivo sempre minimizar a distância total percorrida nas rotas (*minimize Length*); *Service Flag*: conforme definido na base de dados do arquivo geográfico de linhas; *Service Code*: configurado igual 1; *Pass Method*: normal; optou-se por criar o sistema de rota (*Create Route System*) e o relatório de itinerário (*Create Itinerary Report*); *Skims* (definição dos dados a serem relatados após a roteirização no *ARP Routes*): a distância total e o tempo gasto nos percursos onde há realização do serviço de coleta foram relatados separadamente dos locais onde não há a realização do serviço, já o volume de material coletado nas vias é descrito apenas para os *links* onde há o serviço de coleta (*Service Load*);
- 5) Resultados → semelhante à roteirização em nós, o TransCAD após a concluir a roteirização mostra a janela *Results Summary* com um sinal verde e ao clicar em *Show Reports* um arquivo texto é gerado, o qual lista os arquivos de entrada e as configurações que foram utilizadas e fornece informações resumidas sobre os resultados das rotas. O *Arc Routing* produz mais duas saídas: (1) um arquivo texto contendo o itinerário de cada veículo, a sequência das ruas e os movimentos de conversão, a identificação dos links nos quais existe o serviço e naqueles onde não existe o serviço de coleta etc.; (2) as rotas geradas podem ser mostradas em uma camada no mapa, com as informações estatísticas estabelecidas na opção *Skims*, além de dados relativos ao depósito, ao custo de *Deadhead Link*, ao número de *links* percorridos etc.

#### IV) Simulações no TransCAD

Os cenários desenvolvidos neste trabalho buscam fornecer subsídios para discussões e comparações entre as diferentes formas de se planejar e dimensionar um sistema de coleta seletiva. As características do sistema de coleta e transporte do objeto de estudo foram analisadas e a partir dessas informações foram adotadas hipóteses, estimativas e algumas simplificações do sistema real. As variáveis cujos valores são alterados nas simulações desenvolvidas neste trabalho são: (1) exclusão de pontos de passagens obrigatória; (2) número de pontos de entrega; (3) demanda pelo serviço e coleta, ou seja, a quantidade de materiais recicláveis depositados para a coleta; (4) a taxa de participação da população no programa de coleta seletiva; (5) número de veículos; (6) frequência da coleta; (7) roteirização em nós ou arcos; (8) as dimensões dos *containers* para o acondicionamento dos materiais recicláveis.

As simulações foram divididas em cinco grupos de cenários (detalhados no Capítulo 4: aplicação da modelagem e simulação), cujas principais características são descritas a seguir:

Grupo I: três cenários → durante a coleta de dados nos roteiros percorridos pelo veículo de coleta (caminhão) da coleta seletiva foi constatada a existência de viagens até um ponto obrigatório (aterro) onde não havia demanda para a coleta de materiais recicláveis. Assim, neste grupo de cenários foram excluídas do trajeto do caminhão as passagens obrigatórias pelo aterro (ponto de pesagem do caminhão).

Grupo II: dois cenários → o sistema de coleta seletiva da ACIMAR foi alterado e simulou-se a instalação de Postos de Entrega Voluntária (PEVs) como alternativa para o planejamento do programa de coleta. Adicionalmente, também foram excluídas do trajeto do caminhão as passagens obrigatórias no aterro para as pesagens do caminhão.

Grupo III: três cenários → a rotina *Facility Location* foi utilizada para alterar o número de PEVs adotados nos cenários do Grupo II. A taxa de participação da população no programa de coleta seletiva também foi alterada, assim como foram mantidas as exclusões das viagens obrigatórias ao aterro. Na sequência, faz-se a roteirização do veículo de coleta seletiva alterando-se a localização do objeto de estudo.

Grupo IV: três cenários → a estratégia utilizada para realizar a localização dos PEVs nos Grupos II e III (pontos com maior movimentação de pessoas) foi modificada e adotada uma distância fixa entre os pontos de entrega. Em cada um dos cenários a taxa de participação da população (variável) foi alterada.

Grupo V: três cenários → foi simulado que o sistema real de coleta seletiva da ACIMAR seria alterado para o porta-a-porta. Para tanto, utilizou-se a rotina de roteirização

em arcos do SIG. Em cada um dos cenários deste grupo, a principal variável que sofreu alterações é a taxa de participação da população, ou seja, o volume de materiais recicláveis.

#### **V) Análise geral dos resultados**

Após a conclusão dos cenários, foi realizada uma análise geral dos resultados de forma conjunta. O objetivo foi avaliar as várias alterações em termos dos parâmetros “distância total percorrida”, “volume de materiais” e “tempo total”.



## 4. APLICAÇÃO DA MODELAGEM E SIMULAÇÃO

*Nesse capítulo apresenta-se, inicialmente, a caracterização do município e do **Objeto de Estudo**. Na sequência, são descritos e detalhados todos os cenários, as estimativas e as hipóteses adotadas, com o objetivo de demonstrar formas distintas de se realizar o planejamento e o gerenciamento de um sistema de coleta seletiva. Ao final, são realizadas, entre todas as simulações, **comparações, análises e sugestões** para o problema da logística reversa dos materiais recicláveis em uma associação de catadores.*

### 4.1. CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO E DO OBJETO DE ESTUDO

O município de Itajubá, Figura 4.1, localiza-se no sul do Estado de Minas Gerais e ocupa uma área de 290,45 km<sup>2</sup> de extensão (219,75 km<sup>2</sup> de área rural e 70,70 km<sup>2</sup> de área urbana). A estimativa populacional, no ano de 2009, é de 90.255 habitantes, sendo que 92% desse total vivem na zona urbana (IBGE, 2010). A forma de disposição final dos resíduos sólidos do município é o aterro controlado, instalado em terreno de propriedade da prefeitura municipal, com uma área total de 10 hectares. Em 2010, um aterro sanitário foi construído, no entanto durante a realização desta pesquisa ainda não estava em funcionamento. Em Itajubá o valor da geração diária de RSU é em média de 60 toneladas.

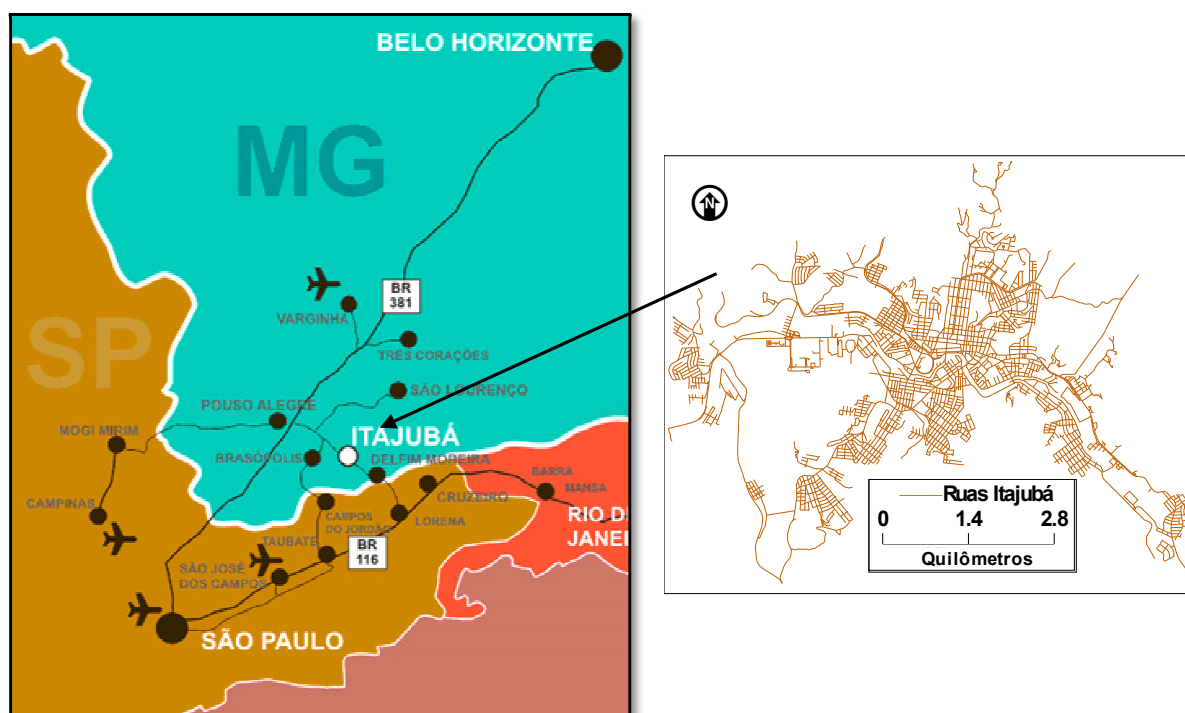


Figura 4.1- Mapa de Itajubá/MG

Na Tabela 4.1 é apresentada a gravimetria média dos RSU do Brasil e da cidade de Itajubá (ambas estimadas a partir dos materiais que são destinados aos aterros ou lixões). Por meio da análise gravimétrica, pode-se determinar o potencial de reciclagem dos RSU e planejar o gerenciamento de equipamentos e de materiais usados para a limpeza urbana. Itajubá apresentou uma porcentagem de material orgânico inferior à média do Brasil, talvez por possuir uma maior quantidade de outros resíduos, constituídos de restos de banheiro, fraldas descartáveis, entulhos, panos, isopor, pilhas entre outros; ou devido à própria estratégia utilizada para a classificação dos materiais que fazem parte dos resíduos orgânicos e de outros materiais.

Tabela 4.1 - Gravimetria dos RSU

<b>Material</b>	<b>Brasil [%]</b>	<b>Itajubá [%]</b>
Resíduos orgânicos	69,60	41,90
Metal	2,40	2,60
Papel e papelão	14,10	13,50
Plástico	10,70	12,90
Vidro	2,30	2,50
Outros materiais	0,80	26,60

Fonte: Carleial e Cruz (2010); Gonçalves (2007)

Em Itajubá há uma lei com o propósito de incentivar e promover o tratamento adequado dos RSU, em que estabelece a utilização do sistema de coleta seletiva e parcerias com associações de catadores. Os serviços de limpeza pública são terceirizados e a prefeitura cobra uma taxa específica para o custeio de tal atividade, inclusa no Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU). A coleta dos resíduos sólidos domiciliares e comerciais no município é feita com a utilização de seis caminhões, sendo cinco dotados de equipamento compactador, com capacidade de quatro toneladas, e um com carroceria de madeira, utilizados para a coleta de resíduos comerciais e da zona rural.

A coleta dos resíduos do serviço de saúde, de responsabilidade da mesma empresa que coleta os resíduos domiciliares e comerciais, é feita de forma diferenciada, não sendo realizada em conjunto com os demais resíduos. Um veículo tipo furgão é utilizado exclusivamente para tal finalidade. Quanto aos resíduos de construção civil, o município tem um depósito em que os materiais encaminhados para o mesmo são utilizados no aterro controlado ou na manutenção das estradas rurais. Porém, existem no município muitos depósitos clandestinos que causam um grande impacto ambiental e visual (GONÇALVES, 2007).

A coleta seletiva, existente em alguns bairros da cidade, é realizada pela Associação de Catadores Itajubenses de Materiais Recicláveis (ACIMAR). Fundada em 2007, possui em torno de 25 catadores associados. Desde sua constituição, a associação recebe assessoria e auxílio da Incubadora Tecnológica de Cooperativas Populares (INTECOOP), vinculada à Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), e da Prefeitura Municipal. Esta última fornece um galpão para a realização das atividades da associação, equipamentos (prensa, empilhadeira, telefone etc.) e um funcionário técnico-administrativo. Além disso, por meio de um contrato com a empresa terceirizada responsável pela limpeza pública da cidade, é disponibilizado um caminhão (carroceria adaptada com uma gaiola), juntamente com um motorista, para a coleta e transporte dos materiais recicláveis. Em 2009, a ACIMAR coletou em média 27 toneladas de materiais recicláveis por mês.

Algumas instituições públicas, empresas privadas e moradores colaboram com a coleta seletiva, separando os materiais recicláveis. No entanto, em muitos casos, os catadores ainda precisam retirar a fração reciclável misturada com os demais resíduos e depositados para a coleta convencional. Como consequência, há um aumento do tempo demandado para a coleta; a quantidade de materiais que poderia ser reciclada é reduzida (em razão das contaminações); além dos riscos inerentes a esse processo de segregação e catação para a saúde dos catadores, já que eles geralmente não utilizam equipamentos de proteção individual, embora os possuam.

De acordo com a classificação realizada por Oliveira Filho (2006), citada na fundamentação teórica, a ACIMAR apresenta características de associações de média eficiência, no que tange à produtividade média de materiais processados por catador, e de baixa eficiência, quanto ao faturamento médio mensal de cada associado. Este último indicador deve ser analisado com cautela, uma vez que foi construído com base nos valores do preço de venda dos materiais no ano do estudo. Outra questão é que os processos de comercialização dos recicláveis variam significativamente em todo território nacional e são fortemente influenciados pelo poder de negociação de cada associação. Na ACIMAR, por exemplo, a venda dos materiais é realizada para intermediários, o que reduz os valores das vendas realizadas pelos catadores. Ressalta-se ainda que os catadores adotam a divisão do faturamento de acordo com a produtividade, ou seja, cada um recebe de acordo com a quantidade coletada.

#### 4.1.2. Descrição do Sistema de Coleta Seletiva da ACIMAR

A Figura 4.3 ilustra o fluxo reverso dos materiais recicláveis que chegam até a ACIMAR. A maior parte dos resíduos advém da coleta seletiva domiciliar e da coleta de doações realizadas por empresas. Os catadores também recebem materiais que são entregues diretamente no galpão e através de um serviço de coleta, disponibilizado pela prefeitura, denominado “Cata Treco”. Todo material coletado é descarregado e depositado no chão do galpão para a realização da triagem. Não é utilizado nenhum tipo de equipamento de proteção individual e não existem ferramentas adequadas para a desmontagem de materiais, como por exemplo, de resíduos eletrônicos.

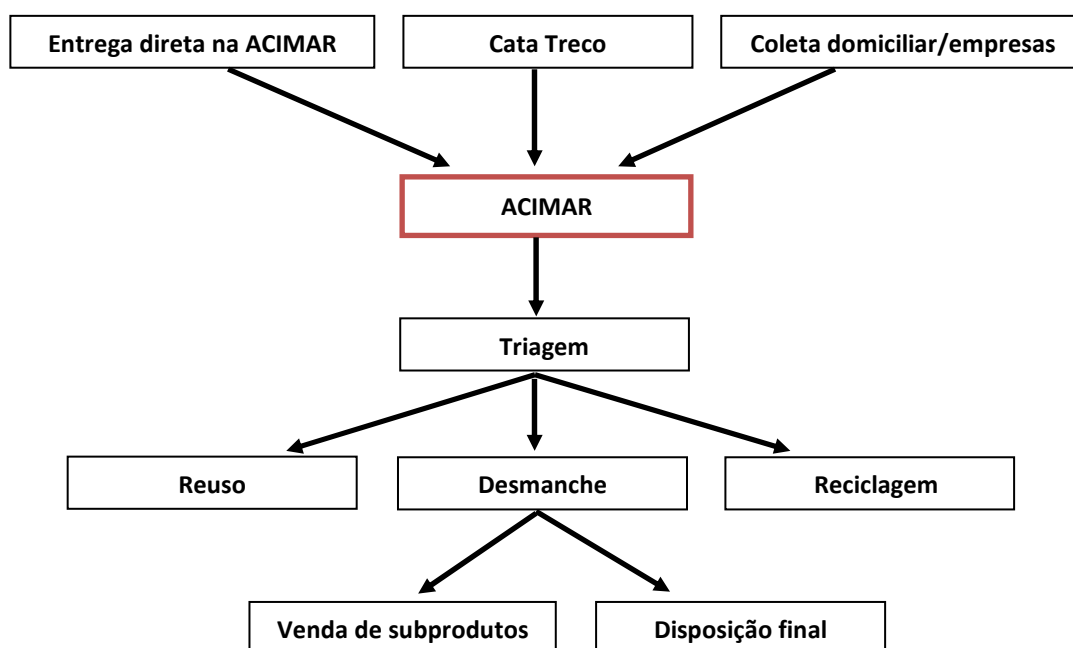


Figura 4.2 - Fluxo reverso dos materiais recicláveis

Os associados dividem-se em dois grupos de trabalho: um permanece no galpão da associação e realiza atividades como segregar e prensar os materiais; já o outro grupo fica responsável pela coleta seletiva. A Figura 4.3 mostra a foto do galpão utilizado pela associação e do único caminhão disponibilizado para a coleta seletiva e transporte dos materiais. Conforme a foto, observa-se que dentro do galpão não há espaços específicos para a armazenagem de cada tipo de material e não existe nenhum equipamento que auxilie na atividade de triagem. Os catadores são transportados juntamente com os materiais coletados, na carroceria do caminhão, fato que os expõem a riscos, além de ser uma infração às leis de trânsito.



Figura 4.3 - Galpão ACIMAR e caminhão da coleta seletiva

O sistema de coleta praticado pela associação é o híbrido. Durante a pesquisa de campo foi possível identificar três rotas (trajetos) e programações distintas da coleta seletiva:

- Roteiro A → segunda, quarta e sexta-feira, no período da manhã;
- Roteiro B → terça e quinta-feira, no período da manhã;
- Roteiro C → realizado no centro da cidade com frequência diária, geralmente a coleta é iniciada a partir das 17h.

A Figura 4.4 ilustra a sequência das viagens que o caminhão de coleta realiza para os Roteiros A e B:

- Na primeira viagem o veículo parte do galpão, transportando os catadores e os *bags* (sacos utilizados para o acondicionamento dos materiais coletados) e segue para os pontos de paradas já estabelecidos em cada bairro. Nestes locais os catadores descem do veículo e seguem a pé para efetuar a coleta dos materiais recicláveis (alguns já deixados separados pelos moradores e outros que terão que ser separados da parte não reciclável depositada para a coleta convencional). Após deixar todos os catadores nos pontos de parada, o caminhão vai ao aterro da cidade e realiza a pesagem do veículo descarregado (tara)<sup>5</sup>. Na sequência, retorna ao galpão, permanecendo em média 01h30min até realizar a segunda viagem, em que busca os catadores e os materiais coletados;
- Na segunda viagem o caminhão deixa o galpão, segue até os locais (pontos) escolhidos pelos catadores e efetua a coleta e o transporte dos materiais e dos catadores. Após passar por todos os pontos determinados, o veículo vai novamente ao aterro, efetua a pesagem do caminhão carregado e com os dados das duas pesagens é obtido o valor total da carga. O caminhão então retorna ao galpão, onde acontece a descarga dos recicláveis e inicia-se o processo de triagem.

<sup>5</sup> Requisito da empresa terceirizada que presta o serviço de limpeza pública, pois a mesma recebe da Prefeitura Municipal por quilograma de material coletado.

Já no Roteiro C, após deixar os catadores nos pontos de paradas e realizar a pesagem no aterro, o caminhão retorna para o centro da cidade e percorre as vias onde os catadores realizam as coletas, apresentando uma única viagem. Após o término das coletas também realiza a pesagem do veículo carregado e retorna ao galpão para descarregar os materiais. Outra característica deste roteiro é que o veículo de coleta percorre as mesmas vias mais de uma vez. De acordo com os catadores, tal procedimento é para que os comerciantes lembrem-se, ao ver o caminhão, de depositar os materiais recicláveis das lojas para a coleta.

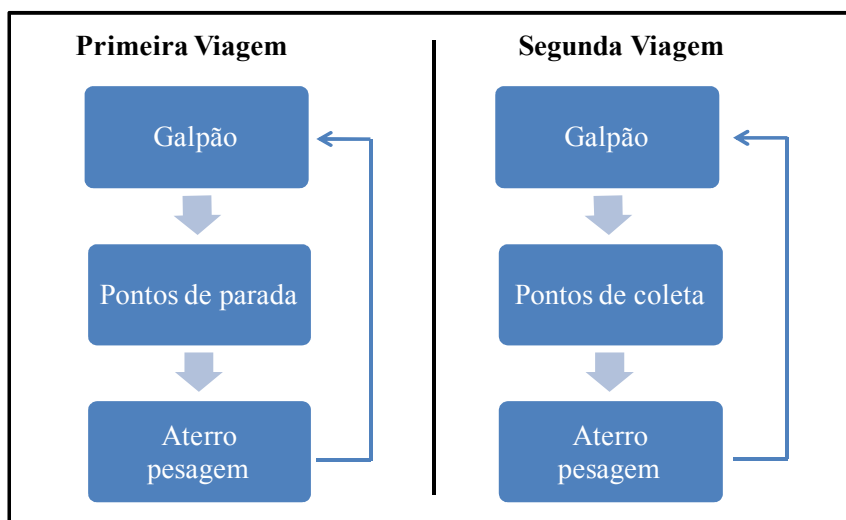


Figura 4.4 - Sequência dos Roteiros A e B

No período da tarde a ACIMAR realiza a coleta de doações em uma empresa (agendada para ocorrer três vezes por semana) e em uma instituição de ensino (duas vezes por semana). No entanto, a programação dessas coletas muitas vezes não é seguida, variando de acordo com a disponibilidade de mão de obra dos catadores. Aos sábados a associação realiza as coletas do programa “Cata Treco”, em que recolhe objetos maiores que a população deseja descartar, como sofás, mesas, fogões, geladeiras etc.

A programação da coleta seletiva (frequência, dia da semana, horário) foi estabelecida conforme os dias e horários da coleta convencional, uma vez que os catadores recolhem muitos materiais que seriam enviados para o aterro da cidade. Como existem cinco caminhões disponíveis para a realização da coleta convencional, a mesma acontece ao mesmo tempo em bairros diferentes (distantes entre si). Isso faz com que as rotas do caminhão da coleta seletiva fiquem muito esparsas. Ressalta-se que nem sempre essa a programação estabelecida é seguida pelos catadores. Foi constatado, por exemplo, que a demanda de serviços dentro do galpão, coletas esporádicas de doações de materiais e a ausência de catadores ao trabalho podem influenciar na regularidade das coletas. Destaca-se também que a ACIMAR chegou a realizar algumas vezes a coleta seletiva porta-a-porta. Porém, esse sistema de coleta foi

abandonado. Os catadores alegaram que apenas um caminhão seria insuficiente para visitar o mesmo número de bairros abrangidos no sistema híbrido. Não foram verificados problemas com o esgotamento da capacidade de carga do caminhão, ou seja, não foi necessário efetuar mais de uma viagem para coletar os materiais de cada trajeto.

A Figura 4.5 mostra duas rotas, coletadas por meio do aparelho GPS, que são realizadas pela associação. No mapa é possível observar que o veículo atravessa a cidade para poder chegar até ao aterro e realizar a pesagem. Segundo os catadores, para realizar a coleta seletiva em mais bairros da cidade seria necessário aumentar o número de veículos, uma vez que para eles apenas um não é o suficiente. Também foi verificado durante a coleta de dados que ocorre dos associados chegarem aos bairros ao mesmo tempo ou após o caminhão da coleta convencional, o que prejudica a quantidade de material a ser coletado e o programa de coleta seletiva perde sua credibilidade frente à população. Outro problema diz respeito às doações, que em muitos casos, não são programadas e podem até alterar a programação da coleta.

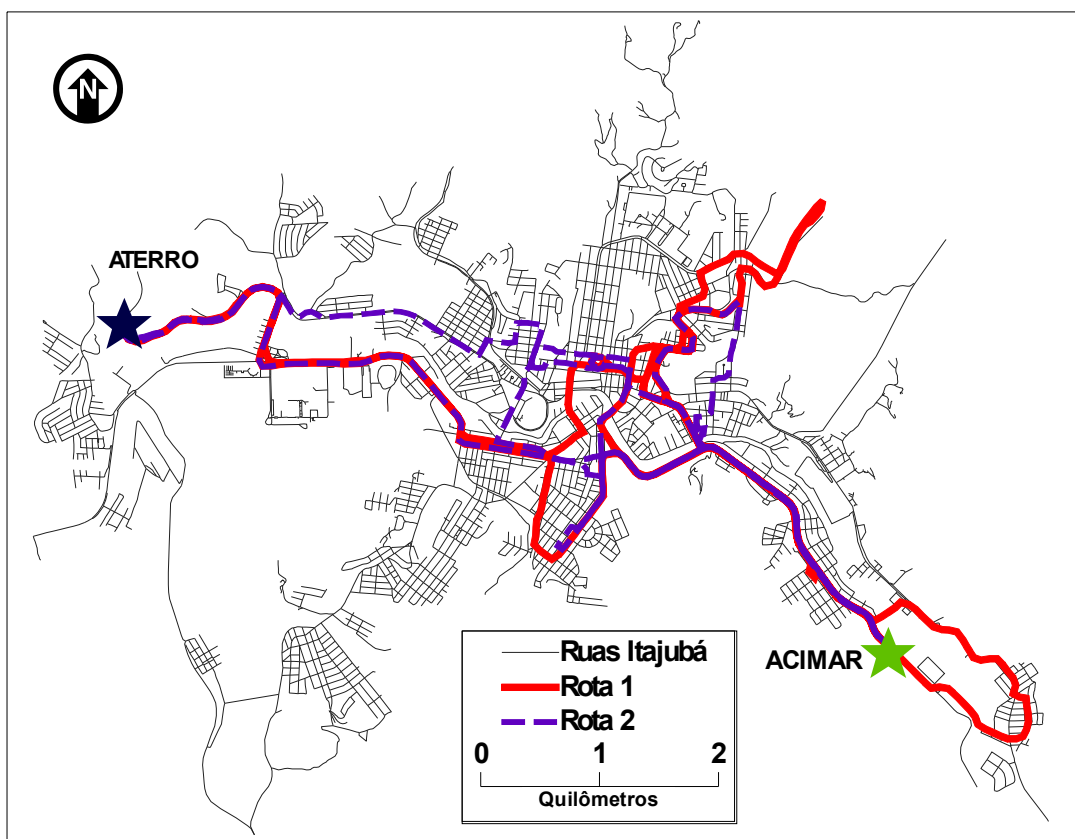


Figura 4.5 - Rotas ACIMAR

Após a conclusão dessa etapa de coleta dos dados, em que foi possível identificar e conhecer as principais características do objeto de estudo, parte-se para a próxima etapa desta pesquisa: a aplicação do método de pesquisa - Modelagem e Simulação.

## 4.2. APLICAÇÃO DO MÉTODO

Neste tópico são detalhados os cenários de simulação desenvolvidos neste trabalho, assim como as hipóteses e estimativas assumidas para a elaboração dos mesmos. Optou-se por dividir as simulações em cinco grupos, que contêm cenários com características semelhantes. Posteriormente, foi realizada a análise geral dos cenários de forma conjunta.

### 4.2.1. Grupo I: Sistema atual e algumas alterações

Conforme o mapa da Figura 4.5, durante a coleta de dados, foi possível identificar que um grande problema logístico existente na ACIMAR é a obrigatoriedade das pesagens do caminhão. Desta forma, neste primeiro grupo de cenários as alterações se concentram na exclusão das viagens até ao aterro. Para tanto são construídos três cenários, detalhados a seguir.

#### **Cenário 1 - Roteirização do veículo no sistema de coleta da ACIMAR**

Neste primeiro cenário o objetivo é reproduzir o atual sistema de coleta da associação, com as características verificadas em cada um dos três roteiros do caminhão. Na primeira viagem o caminhão leva os catadores, juntamente com os *bags*, para os pontos de paradas, segue para o aterro descarregado para efetuar a pesagem e então retorna para o galpão, onde fica aguardando o horário para buscar os catadores e os materiais coletados. Após aguardar aproximadamente 01h30min, o veículo segue para a segunda viagem e passa por todos os pontos de parada estabelecidos pelos catadores. Na sequência, vai novamente ao aterro, para desta vez pesar carregado e, ao final segue para o galpão para descarregar os recicláveis que foram coletados.

#### **Cenário 2 - Roteirização do veículo de coleta com passagem no aterro somente carregado**

Neste cenário exclui-se a necessidade de pesar o caminhão descarregado (primeira viagem). Destaca-se que durante a coleta de dados foi constatado que as rotas eram sempre realizadas com o mesmo caminhão. Assim, deduz-se que seu peso apenas irá variar em função da quantidade de combustível presente no tanque. Todas as outras características e estimativas do sistema de coleta reproduzidos no Cenário 1, como o intervalo de 01h30min entre as coletas e a obrigatoriedade de ir ao aterro pesar o caminhão carregado, são mantidas.



### **Cenário 3 - Roteirização do veículo de coleta sem passagens no aterro**

Neste terceiro cenário, além de excluir a necessidade de pesar do caminhão descarregado, exclui-se também a obrigatoriedade de ir ao aterro pesar o caminhão carregado. Em termos práticos, essa hipótese requer mudanças mais expressivas, como a instalação de uma balança no galpão da associação ou a mudança do galpão para um local mais próximo da localização da balança. Como constatado na coleta de dados, acredita-se que reduções significativas nos parâmetros tempo e distância poderiam ser alcançadas com essas alterações nos roteiros do caminhão. Na sequência, a Figura 4.6 apresenta um resumo dos três cenários descritos anteriormente.

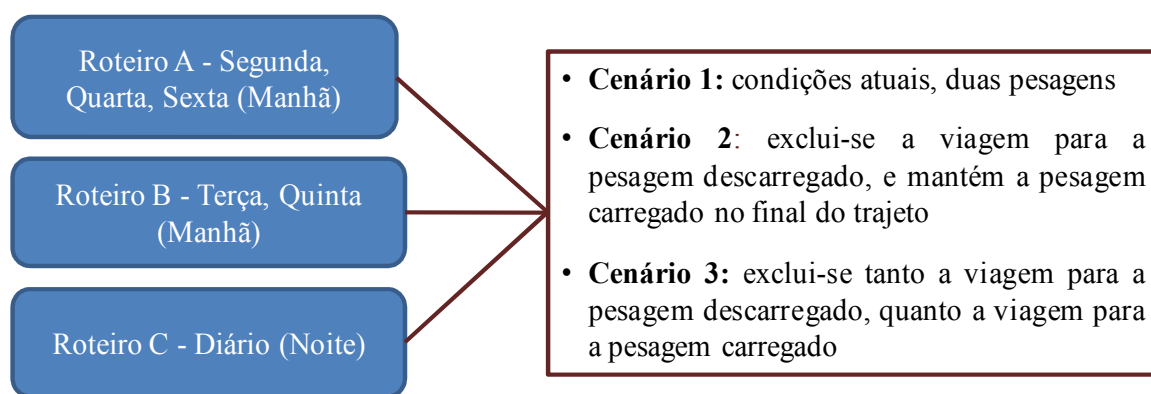


Figura 4.6 - Simulação I: descrição dos três cenários

Não foi incluído nos cenários a roteirização do veículo para o programa Cata Treco, pois devido à característica dinâmica dos pontos de coleta não se repetir e não haver dados históricos sobre essas coletas. Também não foi realizada a roteirização do veículo para as rotas pertencentes ao período da tarde: coleta em uma empresa e em uma instituição de ensino. Como já citado, não havia uma regularidade na frequência dessas coletas, que dependia da disponibilidade dos catadores. Porém, ressalta-se que o tempo correspondente a essas coletas mencionadas foi contabilizado na Tabela 4.3 (descreve o tempo total demandado por semana para a realização da Coleta Seletiva), pois segundo os catadores, o objetivo é conseguir atingir a regularidade dessas visitas, além do fato de que durante esse período o caminhão e o motorista ficam disponíveis para o trabalho.

Após a formulação dos cenários, passa-se para a execução da rotina de roteirização no TransCAD, de acordo com as quatro etapas descritas na metodologia. Os volumes de materiais coletados em cada ponto foram obtidos através das médias dos dados históricos da associação. Não há registros específicos do valor coletado em cada bairro, então admitiu-se uma distribuição uniforme do volume total coletado. O tempo gasto nas paradas foi calculado de acordo com a média registrada durante a coleta de dados com o GPS. São eles:

- Tempo gasto em cada ponto de parada para deixar os catadores: 5 minutos;
- Tempo para realizar a pesagem no aterro: 5 minutos;
- Tempo para carregar os materiais coletados em cada ponto de coleta: 11 minutos;

As velocidades nos trajetos foram calculadas por meio do GPS e preenchidas no mapa viário de Itajubá com os valores constatados conforme a hierarquia das vias da cidade. Assim, foram selecionadas no TransCAD as rodovias principais e as pistas de mão dupla pavimentadas, onde a velocidade média encontrada foi de 50 km/h; as ruas pavimentadas de 30 km/h; as estradas de terra de 10 km/h. Em relação ao veículo de coleta, a capacidade da carga adotada foi o volume da caçamba (44 m<sup>3</sup>), visto que os materiais transportados são em geral pouco densos.

A Tabela 4.2 apresenta os resultados gerais da roteirização do caminhão em cada um dos cenários, assim como a comparação com os valores obtidos nas rotas reais da ACIMAR com o GPS. Para obter as distâncias totais percorridas nos Roteiros A e B foram somados os valores relativos às duas viagens realizadas pelo veículo. Já para os tempos totais, nos Roteiros A e B não foi incluído o intervalo médio de 01h30min em que o caminhão fica no galpão. No Roteiro C, como o caminhão não retorna para o galpão durante o trajeto, esses procedimentos não foram necessários. A Figura 4.7 mostra o mapa com o percurso real da ACIMAR (coletado por meio do GPS) e a roteirização obtida pelo TransCAD no Cenário 3 para o roteiro B, por exemplo.

Tabela 4.2 - Resultados da roteirização dos Cenários 1, 2 e 3

Roteiros	Cenários	Distância [km]	Tempo [h]	Redução distância [%]	Redução Tempo [%]
A	Real	43,0	3:07	--	--
	1	40,0	3:00	6,9	3,7
	2	31,6	2:27	26,5	21,3
	3	21,9	1:53	49,0	39,5
B	Real	55,0	3:50	--	--
	1	44,6	3:41	18,9	3,9
	2	34,4	3:07	37,4	18,6
	3	24,3	2:34	55,8	33,0
C	Real	40,0	3:05	--	--
	1	29,6	3:03	26,0	1,0
	2	19,1	3:01	52,2	2,1
	3	9,6	2:25	76,0	21,6

**Cenário 1** → No Roteiro A, os resultados mostram que ao simular no TransCAD as condições reais do sistema de coleta da ACIMAR, com as duas passagens obrigatórias pelo aterro, poderiam ser obtidas pequenas reduções na distância e no tempo, significando que

neste roteiro o trajeto adotado pelo caminhão não é o problema principal, embora tais reduções já indiquem a possibilidade de melhorias. Já nos Roteiros B e principalmente no Roteiro C, as reduções na distância foram mais significativas.

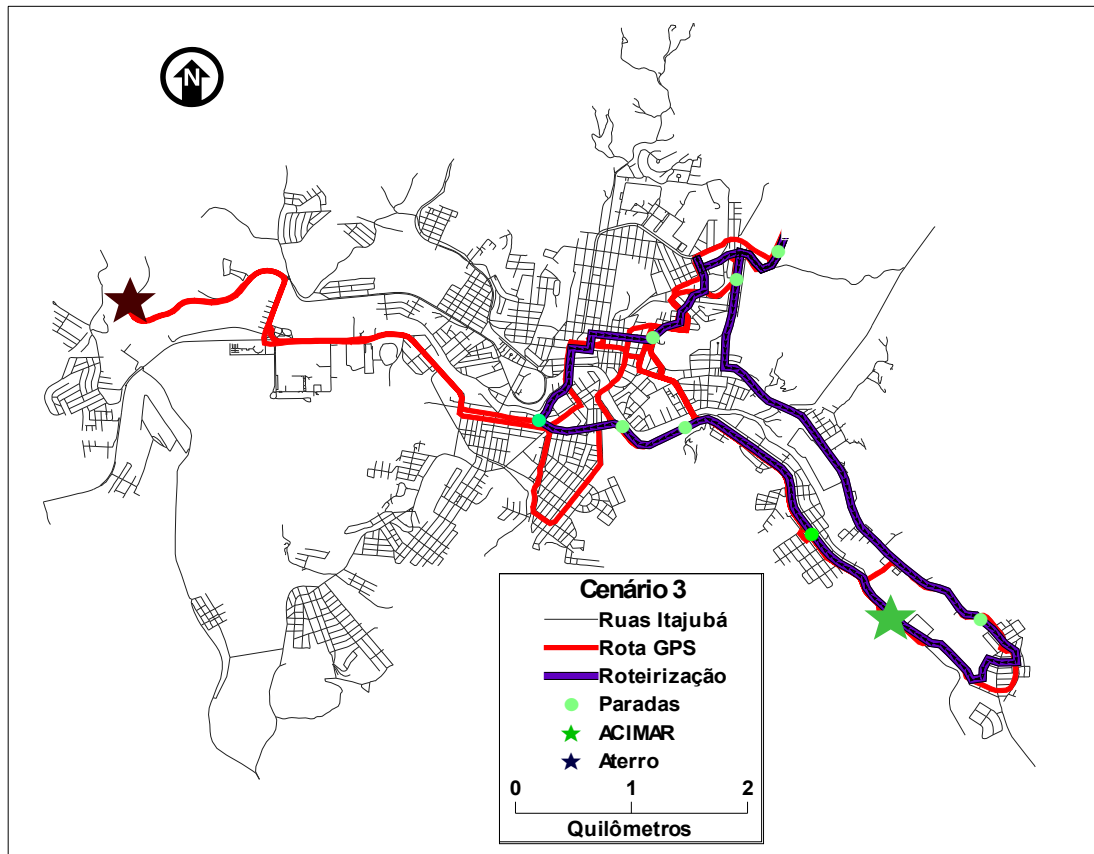


Figura 4.7 - Roteirização do veículo de coleta no Cenário 3

**Cenário 2** → As reduções na distância e no tempo apresentadas neste cenário evidenciam como ganhos significativos nesses parâmetros poderiam ser alcançados com uma decisão simples: não ser necessário pesar em cada roteiro o caminhão descarregado (já que o veículo utilizado é sempre o mesmo). Destacando novamente as reduções na distância do Roteiro B, consequência da realização de coletas em bairros localizados mais afastados do aterro e próximos da ACIMAR. Tais resultados reforçam mais uma vez o principal problema logístico encontrado nas rotas da associação: as viagens ao aterro.

**Cenário 3** → Como era de se esperar, as maiores reduções foram constatadas neste cenário - consequência direta da eliminação das duas viagens ao aterro para as pesagens. Especificamente o Roteiro C, que apresentou as reduções mais elevadas na distância, o percurso que o caminhão deveria realizar é de poucos quilômetros. Porém, como já descrito, o veículo de coleta propositalmente passa mais de uma vez pelas mesmas vias, o que aumenta significativamente a distância total percorrida. Assim, ao executar a rotina de roteirização no

SIG, essas passagens repetidas foram eliminadas. Em relação ao tempo de coleta, em todos os casos as reduções foram menores quando comparadas com as obtidas na distância. A explicação para isso é o tempo mínimo necessário para os catadores realizarem a operação de coleta.

Em relação ao tempo demandado para a coleta seletiva<sup>6</sup>, a Tabela 4.3 apresenta os valores semanais para cada cenário e para o sistema real (estimados conforme a média dos dados coletados). Com base nos dados do GPS, adotou-se tanto para o Cata Treco (uma coleta por semana - 03h) quanto para as coletas das doações realizadas no período da tarde (três vezes por semana em uma empresa - total de 09h; duas vezes por semana em uma instituição de ensino – total de 06h), que a exclusão de uma viagem ao aterro reduziria em 30 minutos o tempo de cada uma dessas coletas. Ainda que na prática a programação dessas duas últimas coletas sofra alterações, devido a gargalos como a triagem, é importante alcançar e manter a regularidade dessas coletas, pois de acordo com os dados da associação a coleta nesses dois locais representa uma quantidade significativa de materiais. Também foi estimado que o tempo para descarregar o caminhão na associação seria em média de 20 minutos (valor contabilizado, já que neste período o motorista permanece em serviço).

Tabela 4.3 - Tempo total gasto por semana na Coleta Seletiva

Cenários	Coleta nos Roteiros [h]	Cata Treco [h]	Coleta das doações [h]	Descarga do caminhão [h] <sup>7</sup>	Intervalo [h]	Total [h]
Real	32:26	3:00	15:00	3:20	7:30	61:16
1	31:37	3:00	15:00	3:20	7:30	60:27
2	28:40	2:30	12:30	3:20	7:30	54:30
3	22:52	2:00	10:00	3:20	7:30	45:42

Todos os cenários da Tabela 4.3 ultrapassariam a jornada de trabalho de 44h semanais estabelecida pela Consolidação das leis do trabalho (CLT). Porém, tanto no sistema real quanto no Cenário 1 o total de horas-extras permitido pela legislação (CLT - Artigo 59 - 02h diárias) também é excedido (BRASIL, 1943). Neste caso, considera-se que ao acrescentar as horas-extras diárias (de segunda a sábado) o valor máximo da jornada de trabalho é de 56h semanais. Uma alternativa para esta questão seria remanejar outro motorista da empresa para realizar algumas das coletas. Já nos Cenário 2 e 3, o número de horas-extras está dentro do

<sup>6</sup> A expressão “coleta seletiva”, neste contexto, é utilizada em todos os cenários para representar todas as coletas (incluindo o programa Cata Treco e a coleta de doações), os transportes e os descarregamentos do caminhão no galpão da associação.

<sup>7</sup> Total de 20 descargas por semana, sendo que no tempo estimado para a coleta de doações e do Cata Treco já foi incluído o tempo de descarga.

limite permitido pela CLT, consequência da exclusão das viagens ao aterro para pesar o veículo descarregado.

#### **4.2.2. Grupo II: Instalação de Postos de Entrega Voluntária**

Neste grupo de simulações, além das exclusões das viagens ao aterro, foi considerado que o sistema real de coleta da ACIMAR seria modificado e alterado para a coleta seletiva por meio da instalação de PEVs. Com o intuito de realizar comparações entre os parâmetros volume, distância e tempo, dois cenários foram simulados: Cenário 4, em que mantêm-se as viagens ao aterro (correspondente ao Cenário 1) e Cenário 5, em que exclui-se as duas viagens ao aterro (correspondente ao Cenário 3, onde ocorreram as maiores reduções na distância e no tempo). Um ponto positivo deste tipo de sistema de coleta é que os materiais recicláveis podem ser acondicionados por tipo (metal, papel/papelão, vidro etc.), evitando perdas por contaminação, além de possibilitar a redução do tempo gasto (pelos catadores) para a triagem dos materiais.

Destaca-se também que a necessidade de mão de obra para a coleta poderia ser reduzida, já que neste caso, os moradores ao colaborarem com o programa, retirariam dos catadores o encargo de percorrer a pé as vias da cidade. Porém, um dos problemas mais citados nas experiências práticas com este tipo de coleta é a dificuldade de se alcançar altas taxas de participação da população para segregar e depositar os recicláveis nos PEVs. Desta forma, fatores como campanhas educativas, número de PEVs, distância entre os possíveis usuários e os pontos de entrega, incentivos econômicos e políticas públicas podem influenciar significativamente na participação das pessoas neste tipo de programa de coleta.

##### **Cenário 4 - Instalação dos PEVs e roteirização do veículo com passagens no aterro**

Primeiramente, para selecionar os pontos onde seriam instalados os PEVs, utilizou-se o mapa de Itajubá específico para aparelhos GPS (feito por um grupo de pesquisa da UNIFEI), que já continha alguns pontos referentes a lugares de interesses (que reúnem uma maior movimentação de pessoas), como supermercados, escolas e praças. Porém, verificou-se a necessidade da localização e inserção de mais pontos (como edifícios). Assim, foi utilizado também o mapa da cidade disponível no Google Earth. No total, foram obtidos 61 possíveis pontos para instalação dos PEVs. Ressalta-se que os valores considerados em todos os cenários são hipóteses. Desta forma, outras estimativas poderiam ser adotadas.

Bringhenti *et al.* (2004), ao pesquisarem a utilização de PEVs para o sistema de coleta seletiva na cidade de Vitória/ES, utilizaram a taxa de 10% como sendo a expectativa de participação inicial da população no programa de coleta. No total, os autores sugeriram a instalação de 130 PEVs na cidade. Em Itajubá, como foi definida inicialmente a instalação de 61 PEVs, considera-se que a expectativa de participação da população urbana no programa de coleta seletiva seria de 15%, pois ao se comparar o número de habitantes das duas cidades citadas anteriormente, a quantidade de PEVs *per capita* sugerida para Itajubá é superior ao valor adotado em Vitória. Em relação à frequência da coleta, admitiu-se que seriam realizadas duas vezes por semana, ou seja, uma coleta a cada 3,5 dias.

O próximo passo foi realizar os cálculos referentes à geração de resíduos recicláveis. Para tanto, utilizou-se a referência de Gonçalves (2007), em que a estimativa média de geração diária de materiais recicláveis em Itajubá é de 0,236 kg por pessoa. Esse valor foi multiplicado pelos 12.445 habitantes (15% de participação), que resultou na geração diária de 2.939,3 kg de recicláveis. De posse dos dados da composição gravimétrica dos RSU (Tabela 4.1), calculou-se a porcentagem de participação de cada fração reciclável em relação ao seu total, conforme descrito na Tabela 4.4, nas colunas (1) e (2). A quantidade de materiais que seria coletada em cada uma das visitas aos PEVs foi considerada a mesma, ou seja, 10.287,5 kg, coluna (3). Na sequência, também foi adotado que nos 61 PEVs a quantidade de materiais acondicionados teria o mesmo valor, coluna (4).

Tabela 4.4 - Quantidade de materiais recicláveis no Cenário 4

(1) Material	(2) Participação em relação ao total reciclável [%]	(3) Material gerado na cidade [kg]	(4) Material por PEV [kg]
Metal	8,3	849,1	13,9
Plástico	40,9	4213,0	69,1
Vidro	7,9	816,4	13,4
Papel	42,9	4409,0	72,3
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>10.287,5</b>	<b>168,6</b>

Devido às características dos materiais recicláveis, em que a relação massa/volume varia consideravelmente, optou-se por dimensionar os *containers* (recipientes de coleta) em função do volume [m<sup>3</sup>] de cada fração reciclável. Para obter esses valores, utilizou-se como referência os dados dos pesos específicos dos materiais recicláveis disponibilizado por Laignier, Braga e Couto (2002). Assim, para calcular o volume dos materiais em casa PEV foram divididos os valores obtidos na coluna (4) da Tabela 4.4 pelo peso específico de cada fração reciclável.

A partir dos dados anteriores foi calculado o volume dos *containers* e sua respectiva taxa média de utilização, obtida por meio da divisão do volume de materiais estimado em cada PEV pela capacidade do *container* (Tabela 4.5). Como o modelo dos *containers* pode ser customizado, sugere-se, ao invés de ter um recipiente para cada fração de reciclável, adotar apenas dois recipientes, sendo que um deles deveria conter três divisões (metal, vidro e papel). Com o intuito de prever eventualidades referentes ao volume dos resíduos acondicionados em cada *container* e de evitar o depósito de materiais na área externa dos recipientes, adotou-se que a taxa de utilização dos mesmos não seria de 100%.

Tabela 4.5 - Volume dos materiais recicláveis no Cenário 4

Material	Material por PEV [kg]	Peso específico [kg/m <sup>3</sup> ]	Volume por PEV [m <sup>3</sup> ]	Volume dos Containers [m <sup>3</sup> ]	Taxa de utilização [%]
Metal	13,90	133,50	0,10	0,12	83,33
Plástico	69,10	24,62	2,80	3,00	93,33
Vidro	13,40	332,00	0,04	0,05	80,00
Papel	72,30	59,38	1,22	1,33	91,72
<b>Total</b>	<b>168,6</b>	-	<b>4,16</b>	<b>4,50</b>	--

O *container* destinado aos plásticos, embora tenha a maior dimensão, apresenta a média de utilização mais elevada (93,33%). A razão para esses valores está na característica desse material, que é leve, mas ocupa um volume significativo, além do fato desses materiais representarem grande parte dos resíduos recicláveis. Ressalta-se que as dimensões totais sugeridas para os volumes dos *containers* podem, na prática, ser um obstáculo para sua adoção (devido ao espaço disponível para a sua instalação), mas não são valores irreais, conforme referenciado na fundamentação teórica e exemplificado na Figura 2.8. Adicionalmente, o intuito principal deste trabalho é descrever o método adotado para o planejamento de um sistema de coleta seletiva e demonstrar que por meio da utilização de um SIG, como o TransCAD, os valores aqui estabelecidos podem ser modificados para a realização de novas simulações.

Após a realização da etapa anterior, parte-se para os procedimentos no SIG, com o objetivo de realizar a roteirização do veículo de coleta, dos quais destaca-se:

- Agrupar (*cluster*) os PEVs → decidiu-se dividir todos os pontos em quatro setores de coleta, de modo que cada um seja visitado duas vezes por semana e que o caminhão tenha que realizar o mesmo número de viagens em cada setor. A Figura 4.8 contém o mapa com a distribuição dos pontos nos quatro setores de coleta, em que o Setor B ficou com um total de 16 pontos e os demais com 15 pontos cada um.

- Roteirizar o caminhão nos quatro setores de coleta → adotou-se o tempo médio de 15 minutos para a realização da coleta dos materiais em cada PEV (o mesmo valor será utilizado nos Cenários 5, 6, 7 e 8) e o tempo médio de 5 minutos para realizar as pesagens no aterro (mesmo valor considerado nos cenários anteriores), já que no presente cenário mantém-se a obrigatoriedade dessas viagens. Os dados referentes às velocidades nas vias também foram mantidos iguais aos utilizados no Grupo I.

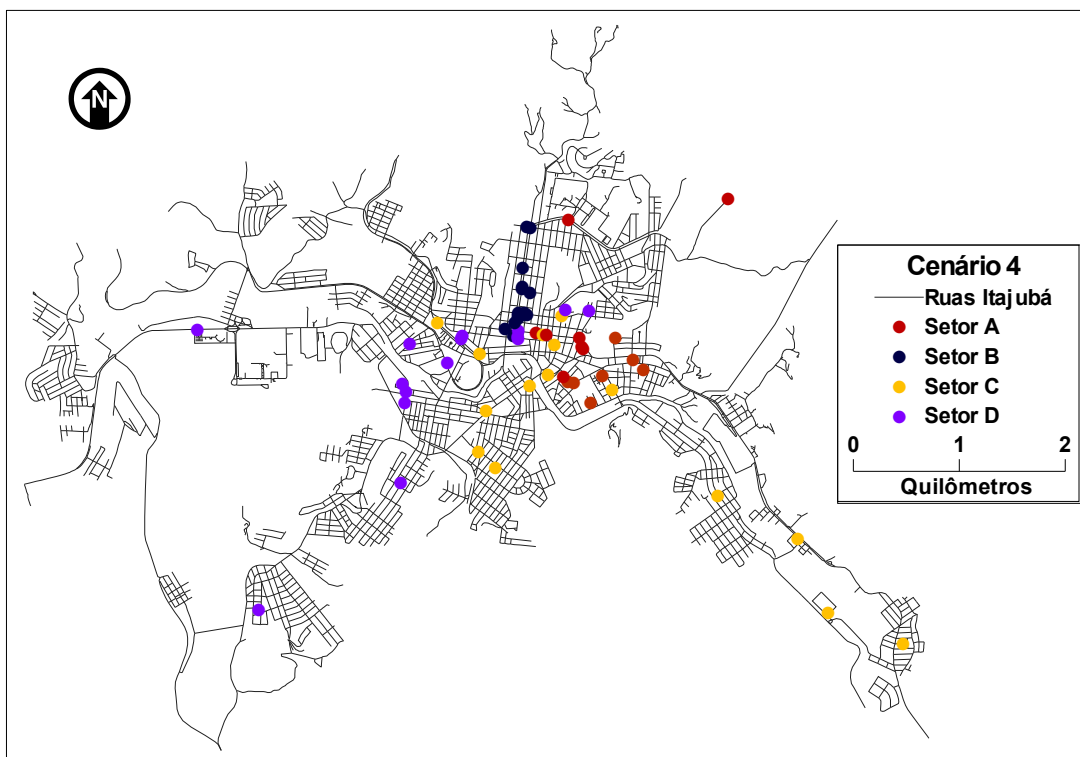


Figura 4.8 - Divisão dos setores de coleta no Cenário 4

Na sequência, após a realização das estimativas e cálculos anteriores, foi realizada a roteirização do caminhão nos cinco setores de coleta. A Tabela 4.6 apresenta os resultados encontrados, com as informações sobre as distâncias percorridas, os tempos gastos em cada setor (incluídos os 20 minutos adotados para descarregar o caminhão após cada viagem) e os volumes coletados, em valores diários e semanais. Os dados referentes às colunas com os valores do tempo total e do volume total por semana foram calculados conforme a frequência da coleta em cada setor, que neste caso é de duas vezes por semana. No valor referente ao tempo, ao somar os períodos reservados para o programa Cata Treco e para a coleta das doações no período da tarde (estimados no total em 18h por semana), seriam demandadas 76h18min por semana para a realização da coleta seletiva. Como já discutido, uma alternativa para as horas que excederem a jornada de trabalho permitida pela CLT, seria remanejar outro



motorista para realizar parte das coletas. Outra opção, embora mais complexa, seria alocar outro caminhão juntamente com o motorista.

Tabela 4.6 - Resultados da roteirização no Cenário 4

Setor	Distância [km]	Distância total por semana [km]	Tempo <sup>8</sup> [h]	Tempo total por semana [h]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Volume total por semana
A	59,90	119,8	7:03	14:06	63,00	126,00
B	53,49	106,98	7:22	14:44	67,20	134,40
C	63,40	126,80	7:30	15:00	63,00	126,00
D	60,01	120,02	7:14	14:28	63,00	126,00
<b>Total</b>	<b>236,80</b>	<b>473,60</b>	<b>29:09</b>	<b>58:18</b>	<b>256,20</b>	<b>512,40</b>

Especificamente em relação à distância, destaca-se que neste cenário seriam necessárias duas viagens do caminhão para transportar o volume de recicláveis correspondente a cada setor de coleta, totalizando assim, quatro viagens ao aterro (Figura 4.9). No TransCAD 4.8, quando a carga do veículo é completada o procedimento do *software* o faz retornar ao depósito e indica uma seleção de pontos órfãos que não foram atendidos, assim esses pontos foram roteirizados até que todos fossem atendidos. Por meio do mapa da roteirização do caminhão no Setor A, verifica-se que os PEVs localizam-se a Leste da cidade e o aterro, a Oeste. Desta forma, além das maiores distâncias percorridas, destaca-se que devido ao fato do acesso ao aterro ser por uma via sem calçamento (terra) e com muitas irregularidades, a demanda de tempo para as coletas é consideravelmente alto, além dos desgastes adicionais que podem ocorrer ao veículo.

A Tabela 4.7 contém as comparações entre o sistema de coleta da ACIMAR e do simulado no presente cenário, em relação à variação do volume, da distância e do tempo demandado para as coletas. Observa-se que mesmo mantendo a obrigatoriedade das pesagens no aterro, a realização da coleta seletiva por meio dos PEVs permitiria coletar uma quantidade muito superior de materiais (336,82%) enquanto que os aumentos verificados na distância e no tempo seriam proporcionalmente bem menores. Esses valores são consequência direta dos percursos improdutivos percorridos nos roteiros da ACIMAR, em que os trajetos do caminhão são muito longos.

<sup>8</sup> Para todos os cenários simulados, foi considerado o tempo de 20 minutos para descarregar o caminhão no galpão da ACIMAR, sempre incluído nos resultados da roteirização.

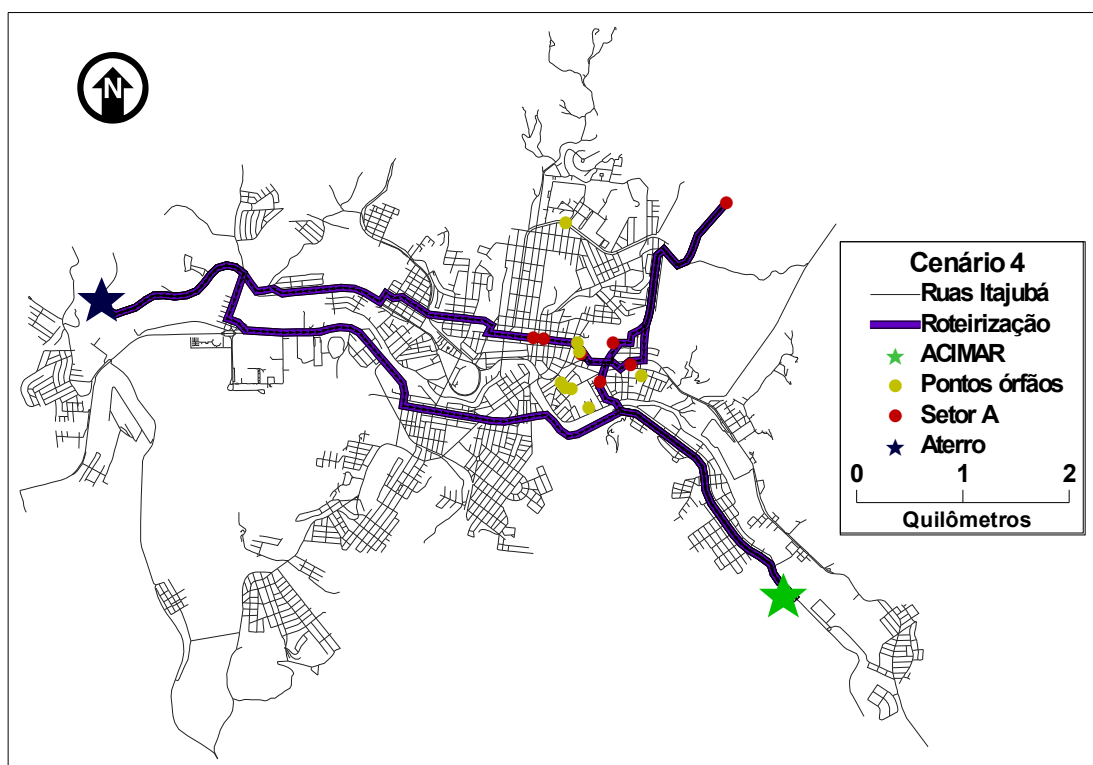


Figura 4.9 - Roteirização do veículo de coleta no Setor A do Cenário 4

Porém, ressalta-se que para alcançar os valores descritos na Tabela 4.7 para o Cenário 4 é imprescindível que a hipótese de 15% de participação da população seja efetivada, uma vez que, com a instalação dos PEVs, os catadores passariam a contar com a participação dos moradores para transportar e depositar os materiais nos pontos de entrega. Com a parceria entre a população e a associação, o tempo gasto pelos catadores para coletar os materiais seria reduzido significativamente, já que não teriam a tarefa de percorrer as vias da cidade a pé, assim como seria eliminada a limitação dos catadores de coletar maiores volumes de materiais devido à necessidade de transportar e “arrastar” os recicláveis nos *bags*.

Tabela 4.7 - Comparação entre o sistema de coleta da ACIMAR e o Cenário 4

Cenários	Volume total [m <sup>3</sup> ]	Variação [%]	Distância total [km]	Variação [%]	Tempo total [h]	Variação [%]
Real	117,30	--	439,00	--	61:16	--
4	512,40	+336,82	473,60	+7,88	76:18	+24,53

#### **Cenário 5 - Instalação dos PEVs e roteirização do veículo sem as passagens no aterro**

De acordo com os resultados das simulações do Grupo I, o Cenário 3, no qual foram excluídas as duas pesagens do caminhão no aterro, é o que apresentou as maiores reduções nas distâncias e nos tempos de coleta em relação ao sistema de coleta da ACIMAR. Desta

forma, no presente cenário, para fins de comparação, considera-se que o caminhão não irá ao aterro realizar as duas pesagens. Todas as outras hipóteses e estimativas adotadas para o Cenário 4 foram mantidas. A Tabela 4.8 contém os resultados da rotina de roteirização, apresentados de modo análogo ao cenário 4. Como adotado nas simulações anteriores, o tempo reservado para o programa Cata Treco e para a coleta das doações do período da tarde seria reduzido para 02h cada visita, ou seja, 12h por semana. Assim, no total seriam necessárias 52h32min por semana para a realização da coleta seletiva e mesmo que ainda exista a necessidade de horas-extras, seu valor não ultrapassa o permitido pela CLT.

Tabela 4.8 - Resultados da roteirização no Cenário 5

Setor	Distância [km]	Distância total por semana [km]	Tempo [h]	Tempo total por semana [h]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Volume total por semana [m <sup>3</sup> ]
A	21,90	43,80	4:46	09:32	63,00	126,00
B	19,48	38,96	5:08	10:16	67,20	134,40
C	23,38	46,76	5:04	10:08	63,00	126,00
D	32,50	65,00	5:18	10:36	63,00	126,00
<b>Total</b>	<b>97,26</b>	<b>194,52</b>	<b>20:16</b>	<b>40:32</b>	<b>256,20</b>	<b>512,40</b>

A Figura 4.10 mostra o mapa com a roteirização do caminhão no Setor A. Especificamente no Cenário 5, a rota do veículo fica restrita ao Leste da cidade. Já no mapa do Cenário 4 (Figura 4.9), a rota é muito esparsa, abrangendo de um extremo ao outro da cidade. Isso reforça que o grande problema logístico do sistema de coleta seletiva está na localização inadequada (distante) do ponto de pesagem e do galpão da associação. A Tabela 4.9 traz inicialmente a comparação entre os Cenários 4 e 5, assim como as comparações realizadas entre o sistema de coleta real e os cenários supracitados. Como observado no Cenário 3, a exclusão das pesagens no aterro proporciona reduções significativas nos valores da distância e do tempo no Cenário 5. Mesmo as variações positivas (aumento) observadas no Cenário 4, são em uma ordem de grandeza muito inferior do que o aumento da produtividade (volume coletado). Desta forma, conclui-se que antes mesmo de estudar novas estratégias para o programa de coleta seletiva, como a instalação de PEVs, as viagens do caminhão ao aterro devem ser extintas, uma vez que prejudicam demasiadamente a eficiência do sistema logístico reverso.

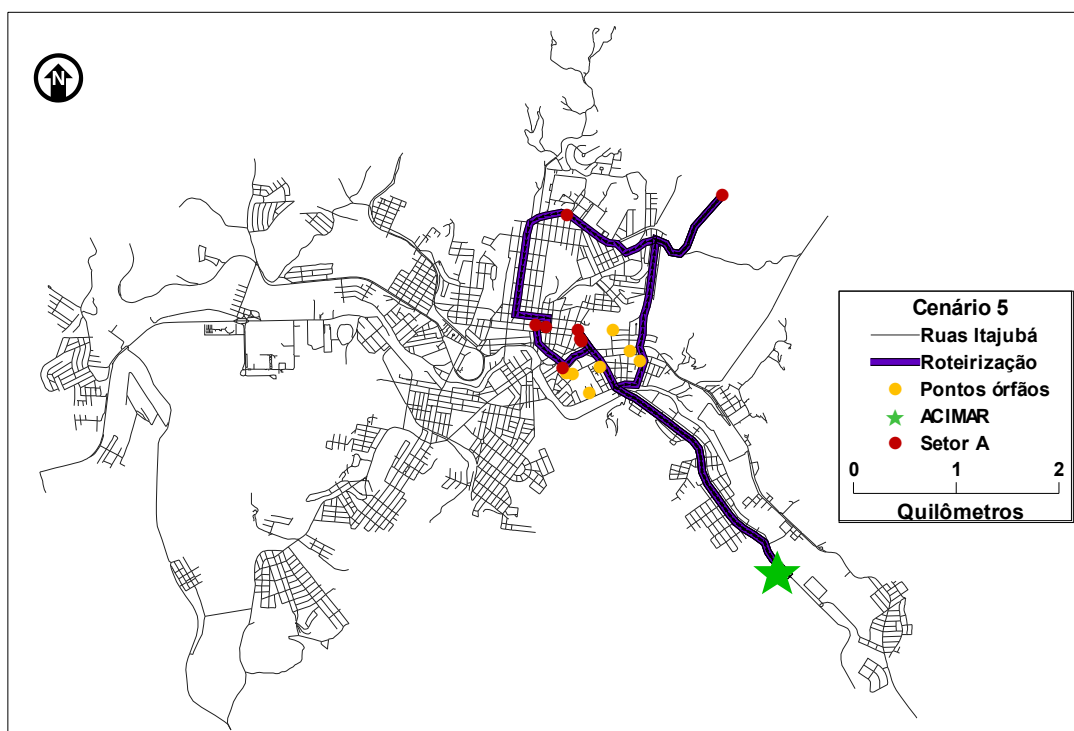


Figura 4.10 - Roteirização do veículo no Setor A do Cenário 5

Tabela 4.9 - Comparação entre os cenários do Grupo II

Cenários	Volume total [m <sup>3</sup> ]	Variação [%]	Distância total [km]	Variação [%]	Tempo total [h]	Variação [%]
4	512,40	--	473,60	--	76:18	--
5	512,40	0,00	194,52	-58,92	52:32	-31,14
Real	117,30	--	439,00	--	61:16	--
4	512,40	+336,82	473,60	+7,88	76:18	+24,53
5	512,40	+336,82	194,52	-55,69	52:32	-14,25

#### 4.2.3. Grupo III: Localização e instalação de Postos de Entrega Voluntária

Mesmo que os resultados do Cenário 5 tenham sido bastante positivos, uma das desvantagens da instalação dos PEVs, quando comparado com outros tipos de sistema de coleta, são os elevados custos de aquisição e de manutenção dos *containers*. Assim, o objetivo das simulações do Grupo III foi reduzir o número de PEVs adotados nos Cenário 4 e 5, utilizando para isso a rotina *Facility Location* (Localização de Atividades) do SIG. Desta forma, dos 61 locais selecionados no Grupo II, apenas alguns deles foram utilizados para a abertura dos PEVs.

### **Cenário 6 - Localização de Postos de Entrega Voluntária e roteirização do veículo de coleta com passagens no aterro**

Alguns locais onde a ACIMAR já realiza coletas, assim como os prédios identificados no mapa de Itajubá, foram considerados como pontos já definidos para instalação dos PEVs (pontos existentes, 21 no total). Desta forma, dos 61 PEVs considerados nos Cenários 4 e 5, restaram 40 (pontos candidatos) que, por meio da utilização da rotina *Facility Location*, foram reduzidos para 20 (novos pontos), conforme ilustrado na Figura 4.11. A escolha dos pontos foi feita ponderada pela densidade demográfica: onde há mais habitantes, maior a geração de recicláveis. Conforme já mencionado, a taxa de participação da população no programa de coleta seletiva tende a diminuir com a redução do número de PEVs. Desta forma, admitiu-se uma taxa de participação de 10% (8.303 habitantes). Consequentemente, no total seriam gerados diariamente 1.959,50 kg de recicláveis, que somam uma quantidade de 6.858,2 kg de materiais a cada 3,5 dias.

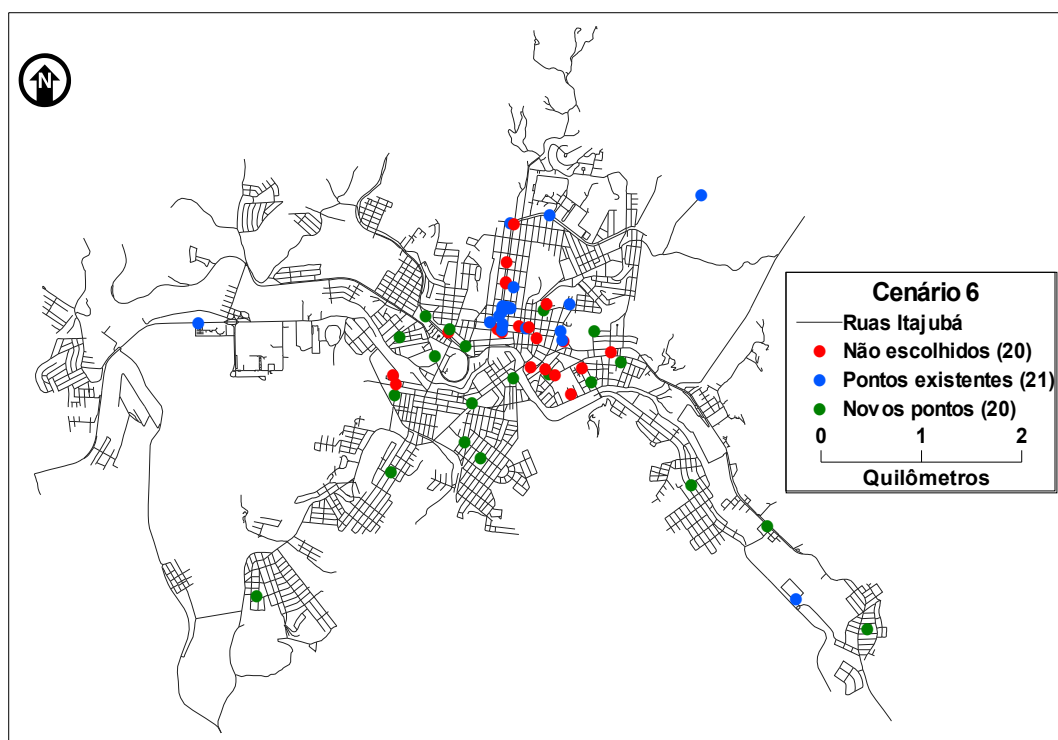


Figura 4.11 - Localização dos PEVs no Cenário 5

Na Tabela 4.10 são apresentados os resultados da quantidade de materiais recicláveis no Cenário 6 de modo análogo aos procedimentos seguidos no Cenário 4. A mesma hipótese adotada para os Cenários 4 e 5, em que o acúmulo de recicláveis teria o mesmo valor em todos os PEVs, foi adotada para o presente cenário. A densidade demográfica, embora utilizada como dado de entrada na rotina *Facility Location*, não foi considerada para os cálculos referentes aos volumes dos materiais nos *containers*. Em razão da localização dos

pontos de entrega ser em locais com bastante movimentação de pessoas, como a área central da cidade, acredita-se que a população que iria colaborar com o programa de coleta seletiva deslocaria-se de diferentes áreas da cidade para esses pontos, inviabilizando assim a utilização da informação sobre a densidade demográfica dos bairros.

Tabela 4.10 - Quantidade de materiais recicláveis no Cenário 6

Material	Participação em relação ao total reciclável [%]	Quantidade de material gerado na cidade [kg]	Quantidade de material por PEV [kg]
Metal	8,30	566,10	13,80
Plástico	40,90	2.808,60	68,50
Vidro	7,90	544,30	13,30
Papel	42,90	2.939,20	71,70
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>6.858,20</b>	<b>167,30</b>

De posse dos dados da Tabela 4.10, parte-se para o cálculo dos volumes dos resíduos gerados em cada PEV (Tabela 4.11). Como a frequência da coleta será mantida a mesma do Grupo II de simulações (duas vezes por semana) e a quantidade de material por PEV praticamente apresenta os mesmos valores encontrados nos cenários 4 e 5, o volume dos *containers* e suas respectivas taxas de utilização também apresentarão valores semelhantes.

Tabela 4.11 - Volume dos materiais recicláveis no Cenário 6

Material	Material por PEV [Kg]	Peso específico [m <sup>3</sup> /kg]	Volume por PEV [m <sup>3</sup> ]	Volume dos Containers [m <sup>3</sup> ]	Taxa de utilização [%]
Metal	13,80	133,50	0,10	0,12	83,33
Plástico	68,50	24,62	2,78	3,00	92,66
Vidro	13,30	332,00	0,04	0,05	80,00
Papel	71,70	59,38	1,21	1,33	90,97
<b>Total</b>	<b>167,30</b>	-	<b>4,13</b>	<b>4,50</b>	--

O próximo passo é a realização do agrupamento (*cluster*) dos PEVs em setores de coleta. No Cenário 4, devido ao volume superior de materiais, optou-se por dividir os PEVs em quatro setores de coleta, sendo requeridas duas viagens do caminhão para transportar os materiais de cada grupo. Como no presente cenário a quantidade de matérias é inferior, decidiu-se fixar a capacidade de carga do caminhão (uma única viagem) como uma restrição para a formação dos *clusters*. Assim, cinco setores de coleta foram criados, sendo que o Setor A ficou com nove pontos e os demais com oito pontos cada um (Figura 4.12).

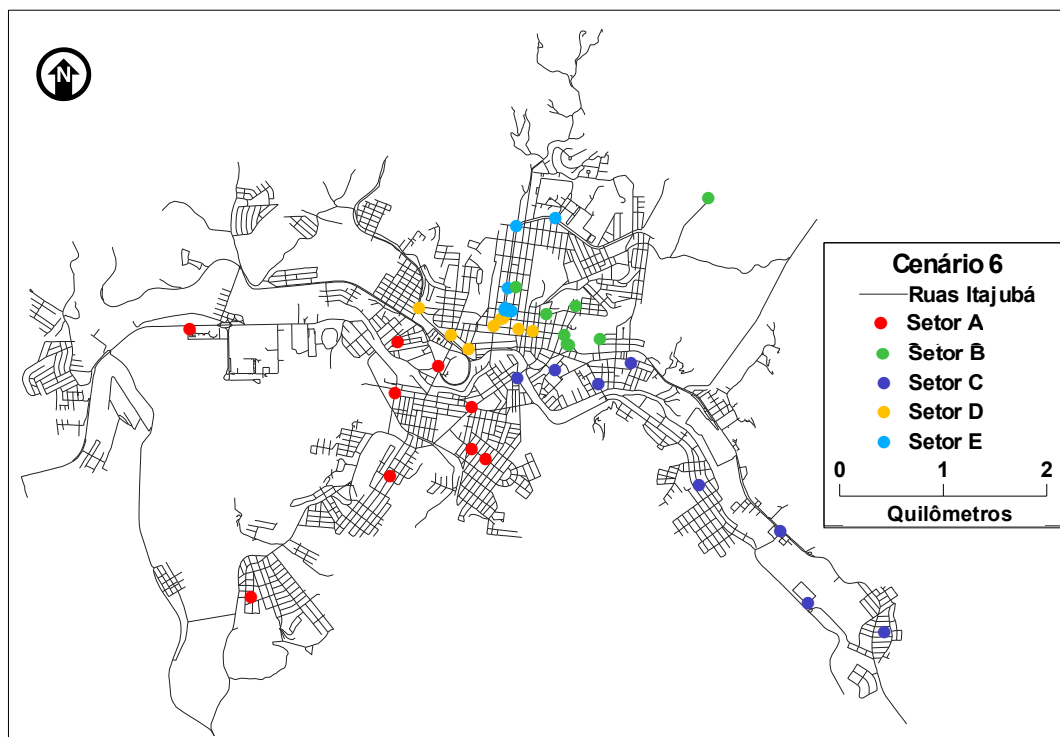


Figura 4.12 - Divisão dos setores de coleta no Cenário 6

Após o agrupamento dos pontos, segue-se para a execução da rotina de roteirização. Com exceção do número de pontos e do volume de materiais recicláveis, os dados de entrada utilizados no Cenário 4 (como o tempo de coleta em cada PEV) foram mantidos inalterados. A Tabela 4.12 apresenta os resultados da roteirização do caminhão nos cinco setores de coleta.

Tabela 4.12 - Resultados da roteirização no Cenário 6

Setor	Distância [km]	Distância total por semana [km]	Tempo [h]	Tempo total por semana [h]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Volume total por semana [m <sup>3</sup> ]
A	37,40	74,80	4:14	8:28	37,17	74,34
B	35,60	71,20	3:55	7:50	33,04	66,08
C	39,00	78,00	3:59	7:58	33,04	66,08
D	28,40	56,80	3:42	7:24	33,04	66,08
E	30,80	61,60	3:44	7:28	33,04	66,08
<b>Total</b>	<b>171,20</b>	<b>342,40</b>	<b>19:34</b>	<b>39:08</b>	<b>169,33</b>	<b>338,66</b>

Ao somar os valores correspondentes às estimativas adotadas para a coleta de doações e ao programa Cata Treco (18h), 57h08min seriam demandadas por semana para a realização da coleta seletiva. Como o tempo total demandado durante a semana ultrapassaria em pouco mais de uma hora o total permitido pela CLT, sugere-se, por exemplo, que a coleta do programa Cata Treco seja transferida para outro motorista da empresa. A Figura 4.13 mostra o

mapa da roteirização do caminhão no Setor B, em que é possível visualizar como a balança de pesagem está bem distante dos pontos sugeridos para a instalação dos PEVs.

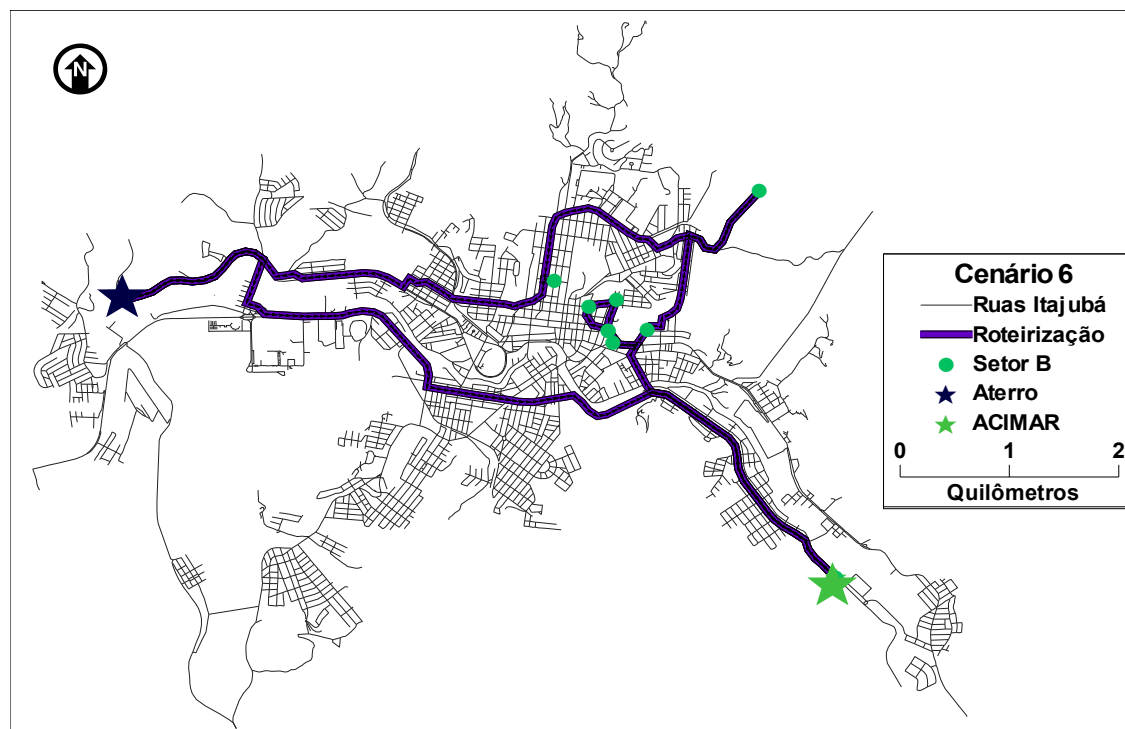


Figura 4.13 - Roteirização do veículo de coleta no Setor B do Cenário 6

A Tabela 4.13 traz as comparações entre o sistema real de coleta e Cenário 6. Mesmo mantendo a obrigatoriedade das pesagens no aterro e adotando a taxa de 10% de participação da população no programa de coleta seletiva, a quantidade de materiais que seria coletada no Cenário 6 ainda é mais elevada (338,66%) do que o constatado no sistema real. Já no parâmetro distância, constata-se uma redução, consequência dos PEVs estarem agrupados próximos entre si, o que não ocorre nos roteiros realizados pela ACIMAR. Como já descrito, a programação da coleta seletiva foi realizada conforme a coleta convencional, assim bairros distantes entre si são visitados em uma mesma manhã, resultando em roteiros muito longos. Adicionalmente, com a roteirização no SIG houve, para todos os cenários, a eliminação de percursos desnecessários como verificado no Roteiro C do sistema real, em que o caminhão percorre as mesmas vias mais de uma vez sem realizar a coleta de materiais. Em relação ao tempo total, verificou-se uma pequena redução nesse parâmetro, mesmo com a estimativa de coletar um volume bem superior de materiais.

Tabela 4.13 - Comparação entre o sistema de coleta da ACIMAR e o Cenário 6

Cenários	Volume total [m <sup>3</sup> ]	Variação [%]	Distância total [km]	Variação [%]	Tempo total [h]	Variação [%]
Real	117,30	--	439,00	--	61:16	--
6	338,66	+188,71	342,40	-22,00	57:08	-6,74



**Cenário 7- Localização de Postos de Entrega Voluntária e roteirização do veículo de coleta seletiva sem passagens no aterro**

Neste cenário, as pesagens obrigatórias no aterro são eliminadas, conforme realizado para as simulações dos Cenários 4 e 5. O objetivo é comparar com o Cenário 6 e demonstrar as consequências da manutenção dessas viagens a um ponto localizado tão distante do galpão da associação. Com exceção da exclusão do aterro, os mesmos dados de entrada adotados nos Cenários 5 e 6 foram mantidos para a rotina de roteirização. A Tabela 4.14 mostra os resultados de cada um dos setores de coleta.

Tabela 4.14 - Resultados da roteirização no Cenário 7

Setor	Distância [km]	Distância total por semana [km]	Tempo [h]	Tempo total por semana [h]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Volume total por semana
A	23,40	46,80	03:04	06:08	37,17	74,34
B	13,00	26,00	02:35	05:10	33,04	66,08
C	12,20	24,40	02:33	05:06	33,04	66,08
D	10,40	20,80	02:29	04:58	33,04	66,08
E	10,80	21,60	02:29	04:58	33,04	66,08
<b>Total</b>	<b>69,80</b>	<b>139,60</b>	<b>13:10</b>	<b>26:20</b>	<b>169,33</b>	<b>338,66</b>

Como nos Cenários 3 e 5, considera-se que as coletas das doações referentes ao período da tarde e do programa Cata Treco seriam reduzidas para 02h cada uma, ou seja, 12h por semana. Sendo assim, no total seriam demandadas 38h20min por semana para realizar a coleta seletiva, ou seja, menos que uma jornada de trabalho de 44h semanais. A Figura 4.14 mostra o mapa com a roteirização do caminhão no Setor B. Como já esperado e verificado nos cenários anteriores, a rota do caminhão, com a exclusão da passagem no aterro, torna-se restrita a região dos pontos de entrega.

A Tabela 4.15 traz as comparações entre os Cenários 6 e 7 e a situação real, de modo análogo a Tabela 4.9. Como de costume, a comparação entre os cenários 6 e 7 mostra reduções significativas no tempo e na distância. A comparação desses cenários com o sistema real mostra que seriam obtidas reduções nesses parâmetros mesmo com um aumento significativo da quantidade de materiais coletada (188,66%). Comparando os Cenários 4 e 5 (Grupo II) com o 6 e 7 (Grupo III), constata-se que a redução no número de PEVs (61 para 41) levaria a uma redução no volume coletado, de aproximadamente 33%.

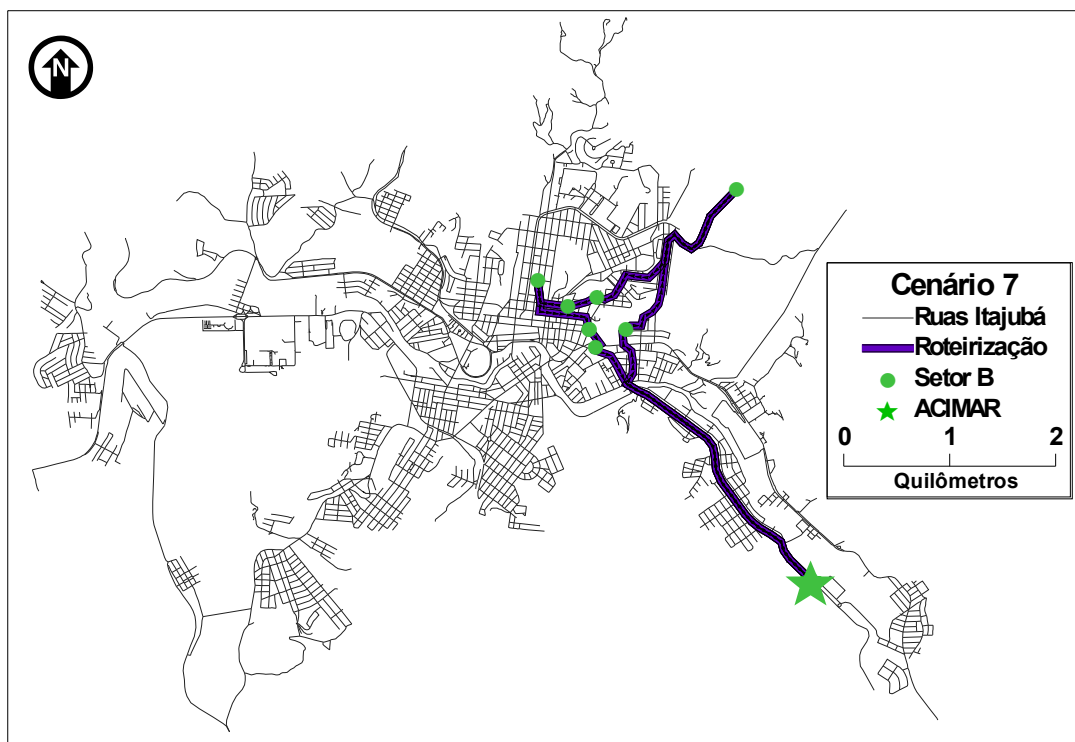


Figura 4.14 - Roteirização do veículo no Setor B do Cenário 7

Tabela 4.15 - Comparação entre os Cenários 6 e 7

Cenários	Volume total [m <sup>3</sup> ]	Variação [%]	Distância total [km]	Variação [%]	Tempo total [h]	Variação [%]
6	338,66	--	342,40	--	57:08	--
7	338,66	0,00	139,60	-59,22	38:20	-32,90
Real	117,30	--	439,00	--	61:16	--
6	338,66	+188,71	342,40	-22,00	57:08	-6,74
7	338,66	+188,71	139,60	-68,20	38:20	-37,43

### **Cenário 8 - Roteirização do veículo de coleta seletiva com a ACIMAR localizada no aterro**

Conforme visto nas simulações anteriores, a obrigatoriedade da pesagem do caminhão no aterro é uma das principais causas que impede uma maior eficiência do sistema logístico da associação. Dessa forma, neste cenário é adotada a hipótese de que a ACIMAR iria se localizar junto ao aterro (balança). O objetivo é analisar as alterações nos valores dos parâmetros distância e tempo com essa hipótese da mudança da localização do galpão da associação. Os mesmos dados considerados para a roteirização nos Cenários 6 e 7 foram mantidos. A Tabela 4.16 contém os resultados da roteirização.

Tabela 4.16 - Resultados da roteirização no Cenário 8

Setor	Distância [km]	Distância total por semana	Tempo [h]	Tempo total por semana	Volume [m <sup>3</sup> ]	Volume total por semana
A	17,40	34,80	3:06	06:12	37,17	74,34
B	17,20	34,40	2:48	05:36	33,04	66,08
C	22,70	45,40	2:54	05:48	33,04	66,08
D	11,30	22,60	2:38	05:16	33,04	66,08
E	12,40	24,80	2:40	05:20	33,04	66,08
<b>Total</b>	<b>81,00</b>	<b>162,00</b>	<b>14:06</b>	<b>28:12</b>	<b>169,33</b>	<b>338,66</b>

Incluindo os tempos correspondentes ao programa Cata Treco e as doações, no total seriam gastas 40h12min por semana para realizar a coleta seletiva. A Figura 4.15 mostra a roteirização do caminhão no Setor E. Conforme o mapa, com a hipótese da localização da associação junto ao aterro não haveria a necessidade do caminhão atravessar a cidade para a realização das pesagens, como ilustrado no mapa do Cenário 6.

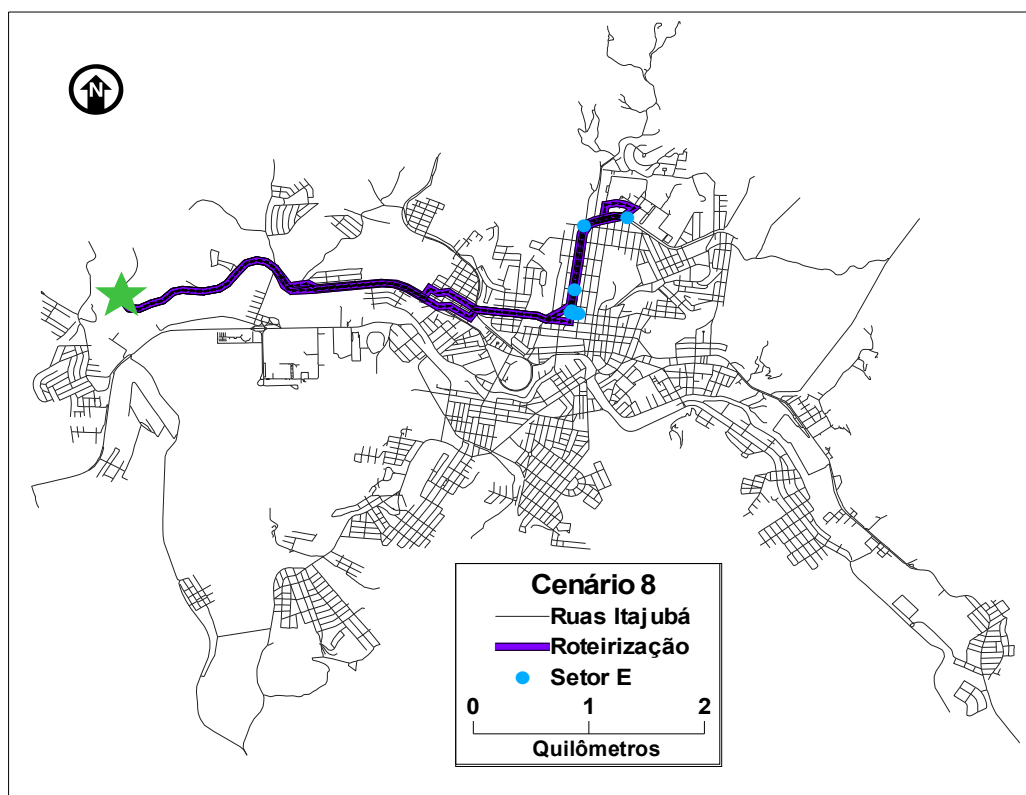


Figura 4.15- Roteirização do veículo no Setor E do Cenário 8

Como realizado nos cenários anteriores, a Tabela 4.17 apresenta as comparações entre os Cenários 6, 7 e 8, assim como entre o sistema real de coleta da ACIMAR e os referidos cenários. Pode-se observar que o Cenário 8 apresenta menores reduções nos parâmetros distância e tempo, quando comparados aos valores obtidos para o Cenário 7. Isso pode ser consequência do aterro estar localizado fora da zona urbana da cidade e mais distante dos

PEVs. Ressalta-se, porém, que a hipótese da mudança da localização do galpão da associação é uma alternativa viável caso seja mantida a obrigatoriedade das pesagens do caminhão, sendo, por exemplo, a possibilidade da instalação de uma balança na associação rejeitada.

Tabela 4.17 - Comparação entre os cenários do Grupo III

Cenários	Volume total [m <sup>3</sup> ]	Variação [%]	Distância total [km]	Variação [%]	Tempo total [h]	Variação [%]
6	338,66	--	342,40	--	57:08	--
7	338,66	0,00	139,60	-59,22	38:20	-32,90
8	338,66	0,00	162,00	-52,68	40:12	-29,63
Real	117,30	--	439,00	--	61:16	--
6	338,66	+188,71	342,40	-22,00	57:08	-6,74
7	338,66	+188,71	139,60	-68,20	38:20	-37,43
8	338,66	+188,71	162,00	-63,09	40:12	-34,38

Dentre todas as simulações realizadas até o momento conclui-se que as maiores reduções na distância e no tempo foram obtidas nos cenários em que a localização do galpão da associação é mantida onde é atualmente, concomitantemente à exclusão das pesagens no aterro. Desta forma, a partir do próximo grupo de simulações, admite-se a hipótese de que não haverá a necessidade de ir ao aterro realizar as pesagens e a localização do galpão da associação não será alterada.

#### 4.2.4. Grupo IV: Instalação de Postos de Entrega Voluntária com variação da área de abrangência

O objetivo deste grupo de cenários foi apresentar outra alternativa para realizar o planejamento e dimensionamento de um programa de coleta seletiva. Para as decisões referentes à localização dos PEVs, embora comumente sejam considerados os locais onde existe grande movimentação de pessoas, foi adotada uma distância fixa entre os pontos de entrega. A expectativa de participação da população no programa de coleta seletiva é alterada nos três cenários simulados neste grupo e foi calculada por meio da distância entre possíveis usuários do sistema e os pontos de entrega (*containers* ou lixeiras), como referenciado na literatura: quanto menor essa distância, maior a probabilidade de adesão da população. Em relação ao tempo necessário para realizar a coleta dos materiais em cada PEV, adotou-se um tempo fixo de 10 minutos para os três cenários e, devido à variação na quantidade de materiais coletados em cada PEV e em cada cenário, adotou-se um tempo variável de 1 minuto a cada m<sup>3</sup> de material coletado nos *containers*.

### **Cenário 9 - Instalação de PEVs e roteirização do veículo com área de abrangência da coleta seletiva de 150 metros**

Neste grupo de cenários será utilizada uma estratégia distinta para a localização dos PEVs. Desta forma, os pontos de entrega serão localizados uniformemente (malha quadrada) na zona urbana de Itajubá, o que permitirá uma melhor distribuição espacial desses locais. A decisão de onde localizar esses pontos foi baseada na distância linear fixa de 750 metros entre os mesmos e alguns ajustes foram necessários devido a pontos que ficaram localizados fora da rede viária da cidade. Para calcular a taxa de participação da população no programa de coleta seletiva, em volta de cada ponto de coleta foi criada uma área circular que, neste cenário, possui um raio de 150 metros. Desta forma, para os possíveis usuários do sistema localizados nos extremos do círculo (*buffer*), uma distância total de 300 metros linear (ida e volta) deveria ser percorrida entre eles e os *containers*. Destaca-se que é utilizada a distância linear, mas devido às características da rede viária (não linearidade), na prática essa distância poderia ser mais elevada.

De acordo com os dados georeferenciados da densidade demográfica de Itajubá (adquiridos do censo realizado pelo IBGE em 2000) foi calculado, por meio da ferramenta *overlay* do TransCAD (sobreposição de camadas que permite combinar dados de camadas distintas que são armazenados e exibidos em uma tabela), o número de habitantes localizados dentro dessas 41 áreas circulares. No total, 14.019 habitantes foram contabilizados. Porém, mesmo que o raio de abrangência de 150 metros seja considerado um valor adequado para uma maior participação da população, conforme a fundamentação teórica, não é considerado que 100% dessas pessoas iriam contribuir com a coleta seletiva. Assim, admitiu-se a hipótese de que 80% da população inserida nas circunferências (11.215 habitantes) iriam contribuir com coleta seletiva, ou seja, 13,50% do total da população urbana de Itajubá, o que resulta em um volume diário de 65,40 m<sup>3</sup> de materiais recicláveis (segundo os parâmetros já definidos no Cenário 4).

Antes de realizar a rotina de roteirização, verificou-se que entre os 41 PEVs havia significativas diferenças na quantidade de materiais que seria acondicionada em cada um dos pontos de entrega (devido à variação na densidade demográfica). Desta forma, com o objetivo de reunir os pontos em setores de coleta que apresentassem volumes semelhantes, optou-se por fazer a divisão dos PEVs em dois grupos. Assim, como a maioria dos pontos possuía estimativas de volumes mais baixos, o limite estabelecido para o primeiro grupo foi de um acúmulo diário até 1,5 m<sup>3</sup> de materiais e outro grupo acima desse valor (Figura 4.16).

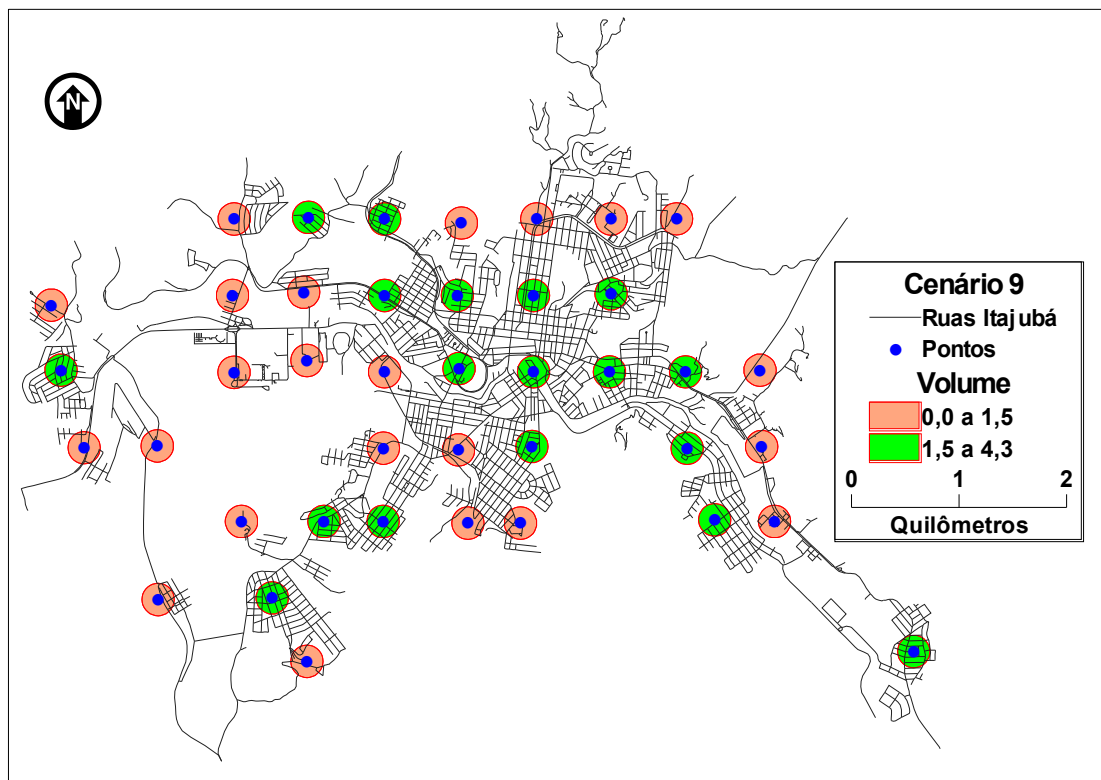


Figura 4.16 - Mapa temático do volume diário [m<sup>3</sup>] no Cenário 9

Conforme os limites estabelecidos no mapa da Figura 4.16, dentre os 41 pontos, 18 apresentaram volumes acima de 1,5 m<sup>3</sup> e foram agrupados em dois setores de coleta (A e B) com nove pontos cada um, pois a soma total do volume diário desses PEVs ultrapassava a capacidade máxima de carga do veículo. Os 23 pontos restantes, com volumes diários inferiores a 1,5 m<sup>3</sup>, formaram um único grupo, Setor C. A Tabela 4.18 contém os valores totais diários de materiais recicláveis que seriam coletados em cada setor e seus volumes médios (obtidos pela divisão do total que seria coletado em cada setor pelo respectivo número de pontos de entrega). O cálculo do volume médio é devido à variação existente entre as quantidades de materiais correspondentes aos pontos de entrega de cada setor. Adicionalmente, será por meio desse valor que a frequência da coleta e as dimensões dos *containers* serão estabelecidas.

Tabela 4.18- Volume de materiais recicláveis por setor no Cenário 9

Material	Setor A [m <sup>3</sup> ]	Volume Médio [m <sup>3</sup> ]	Setor B [m <sup>3</sup> ]	Volume Médio [m <sup>3</sup> ]	Setor C [m <sup>3</sup> ]	Volume Médio [m <sup>3</sup> ]
Metal	0,64	0,07	0,60	0,07	0,40	0,02
Plástico	17,52	1,95	16,21	1,80	10,32	0,45
Vidro	0,25	0,03	0,23	0,03	0,14	0,01
Papel	7,60	0,84	7,03	0,78	4,48	0,19
<b>Total</b>	<b>26,01</b>	<b>2,89</b>	<b>24,07</b>	<b>2,68</b>	<b>15,34</b>	<b>0,67</b>

De posse dos dados da Tabela 4.18, parte-se para o cálculo do volume dos *containers* e das respectivas médias de utilização, conforme apresentado na Tabela 4.19. Como nos cenários anteriores, dividiu-se a estimativa semanal de materiais pela capacidade dos *containers* (obtida de acordo com as dimensões dos recipientes e a frequência da coleta durante a semana). Especificamente nos Setores A e B, devido ao volume dos resíduos, a frequência da coleta deveria ocorrer cinco vezes por semana, uma vez que a estimativa do volume nestes setores ultrapassaria a capacidade de carga do veículo caso a coleta não ocorresse nesta frequência. Já para o Setor C, a frequência da coleta deveria ser de três vezes por semana.

Tabela 4.19 - Volume e média de utilização semanal dos *containers* no Cenário 9

Material	<i>Containers</i> Setor A [m <sup>3</sup> ]	Média de utilização [%]	<i>Containers</i> Setor B [m <sup>3</sup> ]	Média de utilização [%]	<i>Containers</i> Setor C [m <sup>3</sup> ]	Média de utilização [%]
Plástico	3,25	70,00	3,00	70,00	1,70	61,76
Metal	0,12	68,00	0,14	68,00	0,07	66,66
Vidro	0,05	70,00	0,05	70,00	0,04	58,33
Papel	1,40	70,00	1,30	70,00	0,80	55,41
<b>Total</b>	<b>4,82</b>	--	<b>4,49</b>	--	<b>2,61</b>	--

Ressalta-se que a média de utilização dos *containers* foi inferior a 70%, com o intuito de evitar o esgotamento da capacidade dos recipientes nos pontos que possuem maiores demandas, já que os volumes dos *containers* foram calculados baseados na estimativa média dos volumes dos materiais que seriam depositados em cada ponto de coleta. O próximo passo foi realizar a roteirização do caminhão nos três setores de coleta (Tabela 4.20).

Tabela 4.20 - Resultados da roteirização no Cenário 9

Setor	Distância [km]	Distância total por semana [km]	Tempo [h]	Tempo total por semana [h]	Volume Diário [m <sup>3</sup> ]	Volume total por semana [m <sup>3</sup> ]
A	24,90	124,50	3:01	15:05	26,01	182,07
B	16,00	80,00	2:44	13:40	24,07	168,49
C	41,60	124,80	5:44	17:12	15,34	107,38
<b>Total</b>	<b>82,50</b>	<b>329,30</b>	<b>11:29</b>	<b>45:57</b>	<b>65,42</b>	<b>457,94</b>

Incluindo os tempos correspondentes ao programa Cata Treco e as doações, no total seriam gastas 57h57min por semana para realizar a coleta seletiva. Como já sugerido, uma alternativa para as horas que excedem a jornada de trabalho é remanejar um motorista da empresa para fazer algumas coletas. Na Figura 4.17 é apresentado o mapa com a roteirização do caminhão especificamente no Setor B, que contém nove pontos de entrega.

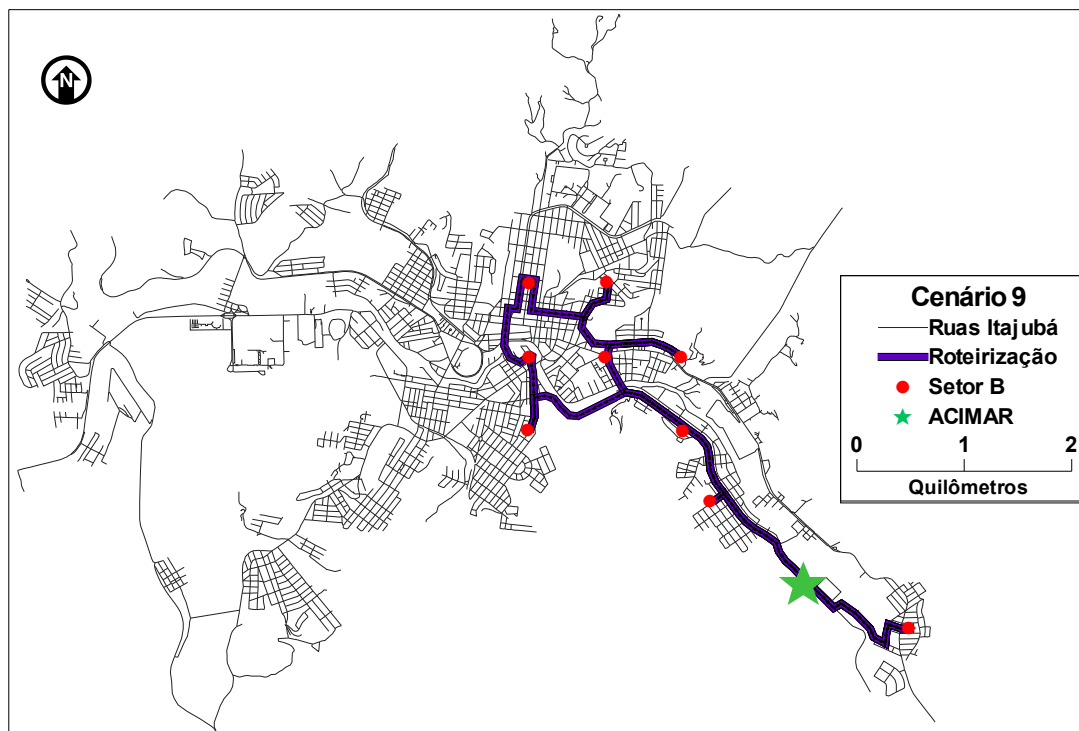


Figura 4.17 - Roteirização do veículo no Setor B do Cenário 9

A Tabela 4.21 contém as comparações entre o sistema de coleta da ACIMAR e o presente cenário. Devido à forma como foram distribuídos os pontos de entrega ao longo de toda extensão urbana da cidade, a quantidade de materiais estimados para a coleta é muito superior (290,40%) à quantidade de materiais do sistema real. Ao mesmo tempo, a distância total que seria percorrida no Cenário 9 é menor do que o verificado no sistema real da associação. Ressalta-se que um dos fatores que possibilitou essa redução na distância é que no Cenário 9 não existe a obrigatoriedade das viagens até ao aterro, assim como a própria característica dos PEVs, que possibilitam coletar volumes significativos de materiais agrupados em alguns pontos estratégicos. Em relação ao tempo, verifica-se uma pequena redução no Cenário 9.

Tabela 4.21 - Comparação entre o sistema de coleta da ACIMAR e o Cenário 9

Cenários	Volume total [m <sup>3</sup> ]	Variação [%]	Distância total [km]	Variação [%]	Tempo total [h]	Variação [%]
Real	117,30	--	439,00	--	61:16	--
9	457,94	+290,40	329,30	-24,98	57:57	-5,41

Após a conclusão deste cenário, o próximo passo é realizar alterações nas variáveis de entrada, que neste caso, refere-se à taxa de adesão da população na coleta seletiva e analisar os resultados gerados para o sistema logístico da associação.



### **Cenário 10 - Instalação de PEVs e roteirização do veículo com variação para 275 metros a área de abrangência da coleta seletiva**

Neste cenário adota-se a hipótese de que devido à manutenção de campanhas educativas e a crescente conscientização da população, mais pessoas iriam colaborar com o programa de coleta seletiva. Assim, a área de abrangência do programa é alterada para o raio de 275 metros, mas o número de PEVs é o mesmo do Cenário 9. Destaca-se, porém, que a participação das pessoas tende a reduzir consideravelmente à medida que a distância linear total entre os possíveis usuários do sistema e os pontos de entrega se eleva (neste caso a distância linear de ida e volta atinge o valor de 550 metros para a população localizada nos extremos da área de abrangência). Desta forma, foram estabelecidas as seguintes estimativas:

- Área de abrangência até 150 metros → é mantida a mesma estimativa do Cenário 9, em que 80% do total da população inserida nessa área iria colaborar com a coleta seletiva;
- Área de abrangência de 150 metros até 275 metros → assume-se inicialmente que a expectativa de participação da população seria de 15% do total das pessoas inserida nessa área.

Na sequência, como no Cenário 9, utilizou-se a opção *overlay* para calcular o número de pessoas e o volume de materiais que seriam gerados dentro dessa nova área de abrangência. Desta forma, os valores obtidos no Cenário 9 (11.215 habitantes e volume de 65,40 m<sup>3</sup>) foram somados aos novos dados do presente cenário: 4.361 habitantes (expectativa de participação da população), que corresponde a uma geração diária de 25,43 m<sup>3</sup> de recicláveis. Assim, no Cenário 10 tem-se uma estimativa total de 15.576 habitantes que participariam do programa de coleta seletiva, ou seja, 18,75% do total da população urbana de Itajubá, que resulta em um volume diário de 90,83 m<sup>3</sup> de materiais. Para a rotina de roteirização, calculou-se a estimativa do volume de materiais recicláveis correspondente a cada PEV, de acordo com a densidade demográfica.

A Figura 4.18 ilustra, por meio do mapa temático, a divisão dos 41 pontos de entrega em dois grupos, sendo: 20 pontos com estimativa de volume diário até 1,80 m<sup>3</sup> de materiais recicláveis e 21 pontos acima desse valor. Ressalta-se que o intuito de dividir os pontos de entrega conforme a estimativa de volume é possibilitar um dimensionamento mais preciso para os volumes dos *containers* e da frequência da coleta, pois considerar todos os pontos de forma uniforme poderia ocasionar a subutilização da infraestrutura do programa ou a impossibilidade de atender a toda demanda prevista. Os 21 PEVs que apresentaram demandas

superiores a  $1,80 \text{ m}^3$  foram divididos em Setor A (11 pontos) e em Setor B (10 pontos), de acordo com a capacidade de carga do veículo. Os 20 pontos restantes formaram o Setor C.

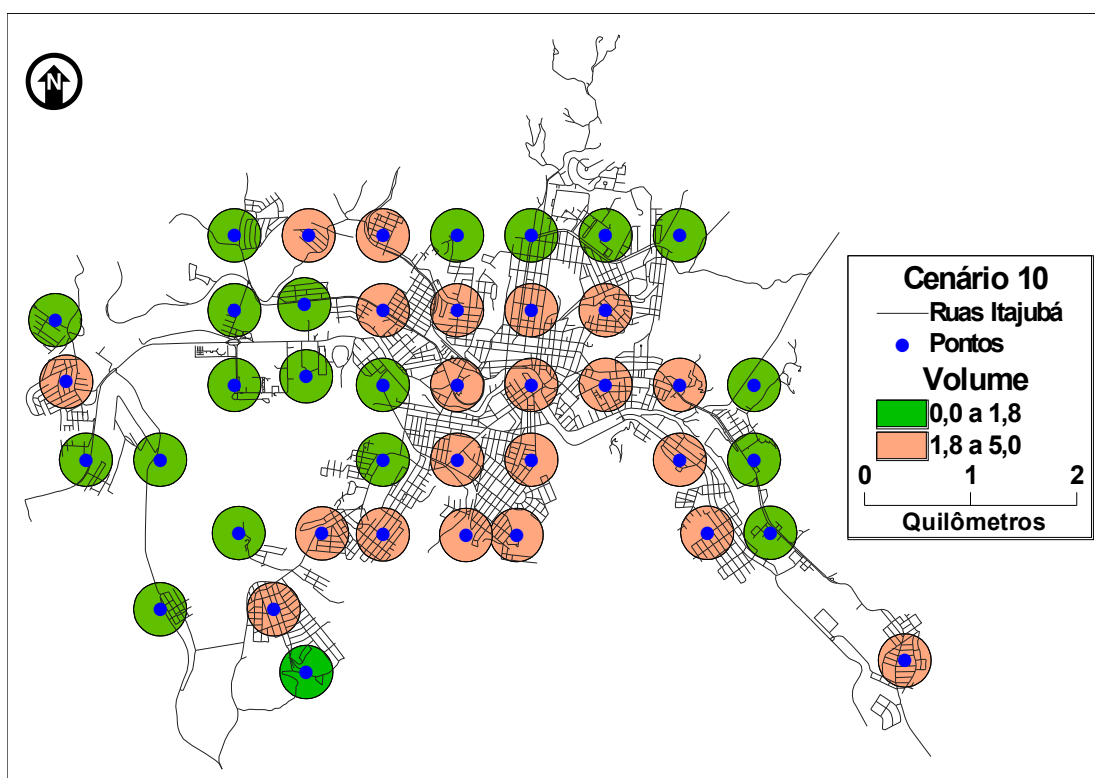


Figura 4.18 - Mapa temático do volume diário [ $\text{m}^3$ ] no Cenário 10

Na Tabela 4.22 são apresentadas as estimativas totais de materiais recicláveis em cada setor e seus valores médios (obtidos pela divisão dos volumes totais pelo número de pontos do respectivo setor).

Tabela 4.22 - Volume de materiais recicláveis por setor no Cenário 10

Material	Total [ $\text{m}^3$ ] Setor A	Volume Médio [ $\text{m}^3$ ]	Total [ $\text{m}^3$ ] Setor B	Volume Médio [ $\text{m}^3$ ]	Total [ $\text{m}^3$ ] Setor C	Volume Médio [ $\text{m}^3$ ]
Metal	0,93	0,08	0,93	0,09	0,43	0,02
Plástico	24,64	2,24	25,09	2,51	11,41	0,54
Vidro	0,35	0,03	0,36	0,04	0,16	0,01
Papel	10,72	0,97	10,87	1,09	4,92	0,23
<b>Total</b>	<b>36,65</b>	<b>3,33</b>	<b>37,26</b>	<b>3,73</b>	<b>16,93</b>	<b>0,81</b>

Nos Setores A e B, sugere-se que a frequência da coleta seja diária, inclusive aos domingos, caso contrário o volume dos *containers* deveria ter sua capacidade aumentada para suportar o acúmulo de materiais referente ao dia sem coleta (considera-se a hipótese de que todos os dias da semana têm a mesma taxa de geração de resíduos). Para o Setor C é mantida a mesma frequência do Cenário 9, três vezes por semana. A Tabela 4.23 traz os valores dos volumes dos *containers*, assim como suas taxas médias de utilização.

Tabela 4.23 - Volume e taxa de utilização dos *containers* no Cenário 10

Material	<i>Containers</i> Setor A [m <sup>3</sup> ]	Média de utilização [%]	<i>Containers</i> Setor B [m <sup>3</sup> ]	Média de utilização [%]	<i>Containers</i> Setor C [m <sup>3</sup> ]	Média de utilização [%]
Plástico	2,80	80,00	3,00	83,66	1,70	74,11
Metal	0,10	80,00	0,11	81,81	0,07	66,66
Vidro	0,04	75,00	0,05	80,00	0,04	58,33
Papel	1,20	80,83	1,30	83,84	0,80	67,08
<b>Total</b>	<b>4,14</b>		<b>4,46</b>		<b>2,61</b>	

Como já referenciado, a sugestão para os volumes dos *containers* foi estabelecida de modo que suas capacidades possam suprir variações nas demandas médias de materiais. Assim, a média de utilização dos *containers* nos Setores A e B, onde as coletas seriam realizadas nos sete dias da semana, possui valores mais elevados quando comparados com os valores do Setor C (inferiores a 75%), onde a coleta não ocorreria diariamente. Após esses procedimentos, realizou-se a roteirização do caminhão nos três setores de coleta, cujos resultados são apresentados na Tabela 4.24.

Tabela 4.24 - Resultados da roteirização no Cenário 10

Setor	Distância [km]	Distância total por semana [km]	Tempo [h]	Tempo total por semana [h]	Volume diário [m <sup>3</sup> ]	Volume total por semana [m <sup>3</sup> ]
A	17,80	124,60	3:20	23:20	36,65	256,55
B	25,90	181,30	3:23	23:41	37,26	260,82
C	40,30	120,90	5:10	15:30	16,93	118,51
<b>Total</b>	<b>84,00</b>	<b>426,80</b>	<b>11:53</b>	<b>62:31</b>	<b>90,84</b>	<b>635,88</b>

De forma análoga aos cenários anteriores, após incluir o programa o Cata Treco a as coletas de doações, no total seriam demandadas 74h31min por semana para a realização da coleta seletiva. Assim recomenda-se a opção de remanejar outro motorista para realizar as coletas correspondentes às horas excedidas na jornada de trabalho permitida pela legislação trabalhista. Na Figura 4.19 é apresentado o mapa da roteirização do Setor A, em que seriam percorridos 17,9 km para coletar um volume de 36,65 m<sup>3</sup> de materiais. Valor bem distinto quando comparado com a distância do Roteiro A do sistema real (Grupo I), por exemplo, em que são demandados em média 43 km para coletar 39,10 m<sup>3</sup> de materiais recicláveis. Diferentemente do que ocorre no sistema real de coleta da associação, o trajeto do caminhão se concentra essencialmente na área onde a coleta seria realizada.

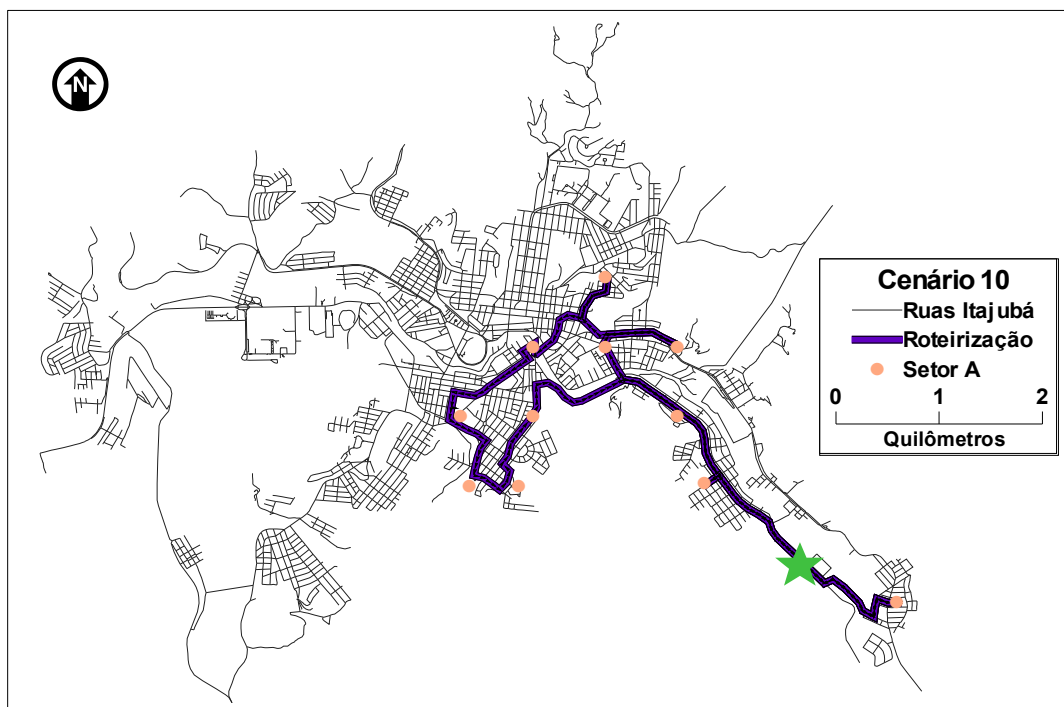


Figura 4.19 - Roteirização do veículo no Setor A do Cenário 10

A Tabela 4.25 traz as comparações entre os Cenários 9 (referência) e 10, assim como entre o sistema real de coleta da ACIMAR (referência) e os cenários do presente grupo de simulação. Ao se comparar com os dados do Cenário 9, o Cenário 10 apresenta aumento no volume, na distância e no tempo, porém a quantidade de materiais que seria coletada apresenta uma elevação numa proporção maior. Comparando com o sistema real, o Cenário 10 apresenta praticamente a mesma distância total para coletar um volume muito superior de materiais (442,35%). Como discutido em cenários anteriores, parte das variações constatadas na distância são consequências das exclusões das viagens ao aterro, assim como da otimização das rotas e da utilização do caminhão de coleta.

Tabela 4 25- Comparação entre os cenários 9 e 10

Cenários	Volume total [m <sup>3</sup> ]	Variação [%]	Distância total [km]	Variação [%]	Tempo total [h]	Variação [%]
9	457,94	--	329,30	--	57:57	--
10	635,88	+38,85	426,80	+29,60	74:31	+28,58
Real	117,30	--	439,00	--	61:16	
9	457,94	+290,40	329,30	-24,98	57:57	-5,41
10	635,88	+442,35	426,80	-2,77	74:31	+21,62

### **Cenário 11 - Instalação de PEVs e roteirização do veículo com variação para 375 metros a área de abrangência da coleta seletiva**

Neste cenário considera-se a hipótese mais otimista dentre as simulações realizadas até o momento. A área de abrangência do programa de coleta seletiva é aumentada para um raio de 375 metros ao redor dos 41 pontos de entrega. Assim, foram estabelecidas as seguintes estimativas:

- Área de abrangência até 150 metros → é mantida a mesma estimativa do Cenário 9, em que 80% do total da população inserida nessa área iria colaborar com a coleta seletiva;
- Área de abrangência entre 150 metros e 275 metros → assume-se a hipótese de que a participação da população seria elevada de 15% (cenário 10) para 30% do total de pessoas inserida nesta área;
- Área de abrangência de 275 metros até 375 metros → como consequência do aumento da distância entre a população e os pontos de entrega, é considerado neste círculo o valor mais baixo da taxa de participação da população: 8%; que resulta no volume de 13,68 m<sup>3</sup> de materiais recicláveis.

De acordo com essas porcentagens, um total de 22.284 habitantes iria contribuir com o programa de coleta seletiva no Cenário 11, que corresponde a 26,83% da população de Itajubá e a um volume diário de 129,95 m<sup>3</sup> de materiais recicláveis. A Figura 4.20 mostra o mapa temático que ilustra a estimativa dos volumes dos materiais correspondente a cada PEV. A área central da cidade, como constatado nos Cenários 9 e 10, é que apresenta os maiores volumes. Em razão da maior quantidade de materiais estimada para este cenário, optou-se por dividir os 41 pontos de entrega em três grupos, mas foi mantido o mesmo número de setores de coleta dos Cenários 9 e 10, sendo: 17 pontos com volumes diários até 2,1 m<sup>3</sup> (Setor C); 11 pontos com volumes entre 2,1 m<sup>3</sup> e 4,2 m<sup>3</sup> (Setor B); 13 pontos com volumes superiores a 4,2 m<sup>3</sup> (Setor A).

Na Tabela 4.26 são apresentados os totais de materiais recicláveis que seriam coletados em cada um dos três setores e seus respectivos volumes médios. Como no Cenário 10, recomenda-se que a frequência da coleta nos Setores A e B seja diária, ocorrendo inclusive aos domingos, de modo que as dimensões dos *containers* não precisem ser elevadas para suprir o acúmulo de materiais. Lembrando que foi considerado uma geração e acondicionamento uniforme dos materiais em todos os dias da semana. Já para o Setor C, devido à elevação do volume quando comparado com os valores dos Cenários 9 e 10, a frequência da coleta deveria acontecer quatro vezes por semana.

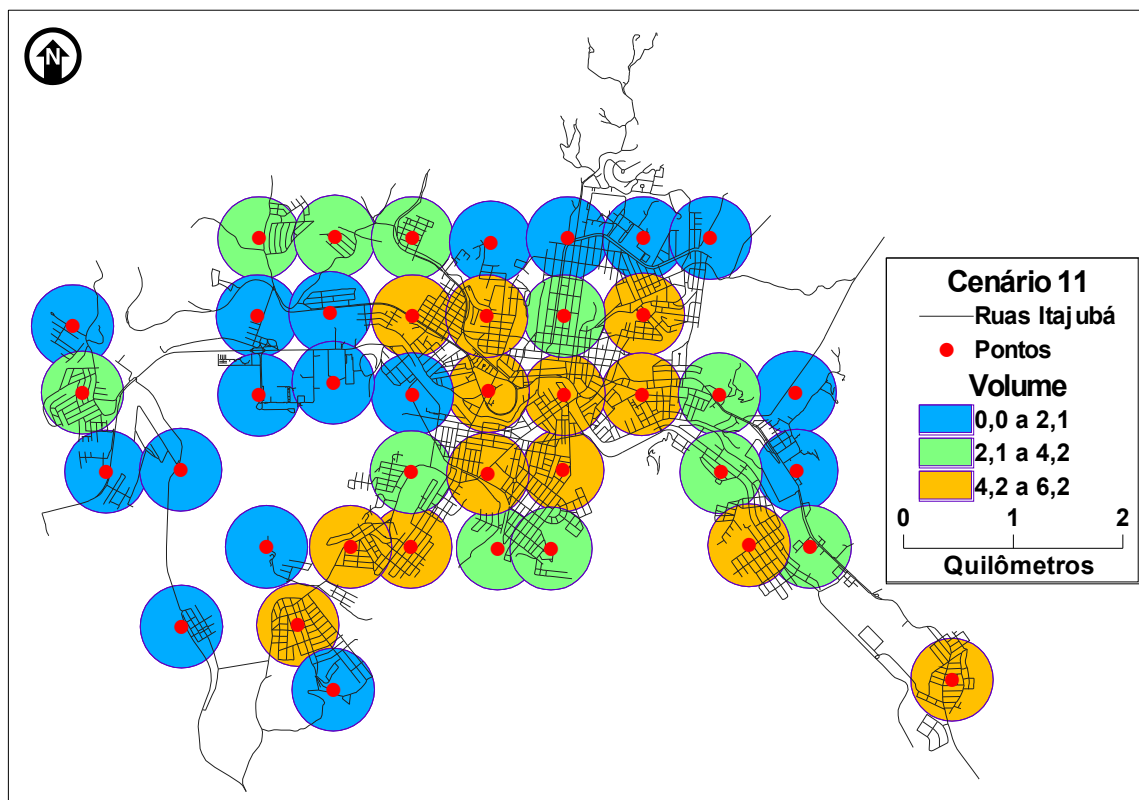
Figura 4.20 - Mapa temático do volume diário [m<sup>3</sup>] no Cenário 11

Tabela 4.26 - Volume de materiais recicláveis por setor no Cenário 11

Material	Total [m <sup>3</sup> ] Setor A	Volume Médio [m <sup>3</sup> ]	Total [m <sup>3</sup> ] Setor B	Volume Médio [m <sup>3</sup> ]	Total [m <sup>3</sup> ] Setor C	Volume Médio [m <sup>3</sup> ]
Metal	1,89	0,15	0,87	0,08	0,44	0,03
Plástico	50,51	3,89	23,74	2,16	12,96	0,76
Vidro	0,74	0,06	0,34	0,03	0,19	0,01
Papel	22,29	1,71	10,35	0,94	5,64	0,33
<b>Total</b>	<b>75,43</b>	<b>5,80</b>	<b>35,29</b>	<b>3,21</b>	<b>19,23</b>	<b>1,13</b>

Após essas definições, na Tabela 4.26 são apresentados os volumes e taxa de utilização dos *containers*. As menores médias de utilização dos *containers* são verificadas para o Setor C. Como já descrito nos Cenários 9 e 10, isso é consequência da frequência da coleta neste setor não ser diária, que implica diretamente na capacidade dos recipientes suportarem o acúmulo de materiais. Ressalta-se que embora os valores adotados para o volume dos materiais possam ser considerados otimistas, devido principalmente ao sistema de coleta depender essencialmente da colaboração da população, o intuito é demonstrar os efeitos do aumento no volume dos materiais para o sistema de coleta por meio de PEVs. Isso pode ser observado na Tabela 4.27, especificamente no Setor A, em que as dimensões sugeridas para os recipientes de coleta (mesmo considerando a coleta sete dias por semana) são significativamente elevadas.

Tabela 4.27 - Volume e taxa de utilização dos *containers* no Cenário 11

Material	<i>Containers</i> Setor A [m <sup>3</sup> ]	Média de utilização [%]	<i>Containers</i> Setor B [m <sup>3</sup> ]	Média de utilização [%]	<i>Containers</i> Setor C [m <sup>3</sup> ]	Média de utilização [%]
Plástico	4,10	94,87	2,80	77,14	1,90	70,00
Metal	0,18	83,33	0,11	72,72	0,08	65,63
Vidro	0,07	85,71	0,04	75,00	0,03	58,33
Papel	1,80	95,00	1,20	78,33	0,80	72,19
<b>Total</b>	<b>6,15</b>	--	<b>4,15</b>	--	<b>2,81</b>	--

A Tabela 4.28 apresenta os resultados da roteirização do caminhão nos três setores. Os Setores B e C apresentam estimativas diárias inferiores a 44 m<sup>3</sup> de recicláveis (capacidade de carga do caminhão de coleta), assim uma viagem do caminhão seria suficiente para transportar os materiais. Já para o Setor A, devido à maior densidade demográfica referente à localização de seus pontos de entrega, duas viagens seriam requeridas (Figura 4.21). Como consequência da elevação da quantidade de recicláveis estimada para o Cenário 11, o tempo total demandado por semana para as coletas também é maior.

No total seriam gastas 91h06min por semana para realizar a coleta seletiva (incluindo os tempos correspondentes as coletas do programa Cata Treco e das doações realizadas no período da tarde). Sugere-se então dividir a realização das coletas com outro motorista, de modo que a jornada de trabalho não exceda o permitido pela CLT. Na prática, seria necessário realizar coletas no período da noite devido ao tempo total demandado para as coletas, o que exigiria uma reorganização do horário de trabalhos dos catadores. Então, neste caso, também poderia ser analisada a opção de alocar mais um veículo para a coleta.

Tabela 4.28 - Resultados da roteirização no Cenário 11

Setor	Distância [km]	Distância total por semana [km]	Tempo [h]	Tempo total por semana [h]	Volume diário [m <sup>3</sup> ]	Volume total por semana [m <sup>3</sup> ]
A	34,50	241,50	5:08	35:56	75,43	528,01
B	24,70	172,90	3:30	24:30	35,29	247,03
C	39,30	157,20	4:40	18:40	19,23	134,61
<b>Total</b>	<b>59,20</b>	<b>571,60</b>	<b>13:18</b>	<b>79:06</b>	<b>129,95</b>	<b>909,65</b>

De modo análogo aos grupos de simulações anteriores, na Tabela 4.29 são apresentadas as comparações entre os Cenários 9 (referência), 10 e 11, assim como entre o sistema real de coleta da ACIMAR (referência) e os cenários supracitados. Destaca-se inicialmente as grandes elevações nos volumes de materiais estimados para serem coletados no Cenário 11. Outro ponto relevante diz respeito às variações do Cenário 11 quando comparado com o sistema real, em que o aumento do volume (675,49%) é em uma ordem de grandeza muito superior quando comparado com os aumentos da distância (30,06%) e do

tempo (48,69%), o que evidencia uma vez mais que grande parte do valor total da distância percorrida pelo caminhão na ACIMAR é constituída de percursos improdutivos.

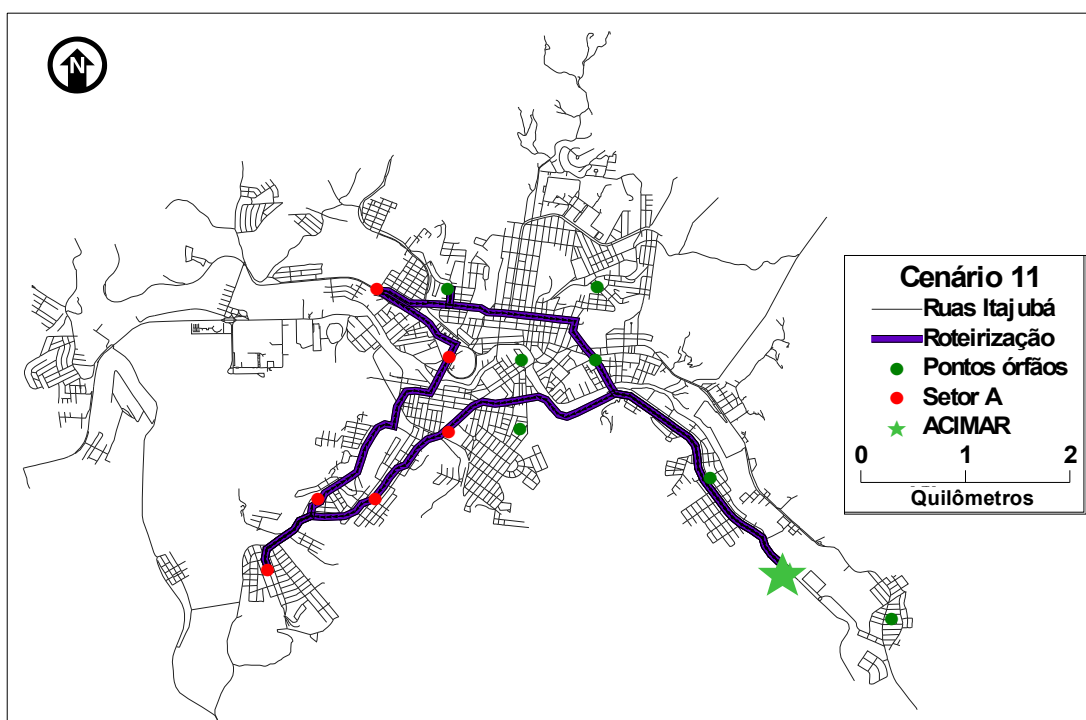


Figura 4.21 - Roteirização do veículo no Setor A do Cenário 11

Para todos os cenários, a colaboração da população é imprescindível. Para tanto, a regularidade da coleta e um adequado dimensionamento de sua estrutura contribuem de forma decisiva para a credibilidade do programa. Como já citado, especificamente no Brasil, às estratégias mais utilizadas para realizar a coleta seletiva são: sistema Híbrido (adotado pela ACIMAR, simulado no Grupo I); coleta seletiva por meio de PEVs (simulado nos Grupos II, III e IV) e o sistema porta-a-porta (em maior proporção), que será apresentado na sequência.

Tabela 4.29 - Comparação entre os cenários do Grupo IV

Cenários	Volume total [m <sup>3</sup> ]	Variação [%]	Distância total [km]	Variação [%]	Tempo total [h]	Variação [%]
9	457,94	--	329,30	--	57:57	--
10	635,88	+38,85	426,80	+29,60	74:31	+28,58
11	909,65	+98,63	571,60	+73,58	91:06	+57,20
Real	117,30	--	439,00	--	61:16	
9	457,94	+290,40	329,30	-24,98	57:57	-5,41
10	635,88	+442,35	426,80	-2,77	74:31	+21,62
11	909,65	+675,49	571,60	+30,06	91:06	+48,69

#### 4.2.5. Grupo V: Coleta Seletiva porta-a-porta

Neste grupo de cenários considerou-se que o sistema de coleta seletiva seria alterado para o porta-a-porta. Para fins de comparação a rotina *Arc Routing* (roteirização em arcos) foi



aplicada nos bairros onde a ACIMAR já realiza a coleta seletiva. O objetivo foi verificar alterações principalmente na distância, uma vez que o sistema porta-a-porta é considerado como o que apresenta as maiores distâncias, já que o veículo deve percorrer toda a extensão das vias. Em contrapartida, a participação da população neste tipo de programa de coleta seletiva tende a ser superior quando comparada com o sistema de coleta por meio de PEVs. Como no Grupo IV, as viagens até ao aterro também foram excluídas. No total, três cenários foram simulados, sendo a taxa de participação da população a variável que sofreu as alterações em cada cenário.

#### **Cenário 12 - Roteirização do veículo na coleta seletiva porta-a-porta com 20 % da participação da população**

Para executar a rotina *Arc Routing* (roteirização em arcos) foram seguidos os passos descritos na metodologia da pesquisa (Capítulo 3). Primeiramente foi realizado no mapa do TransCAD a divisão dos bairros de Itajubá por meio da criação de polígonos (áreas). Após a formação dessas áreas, foram selecionados os arcos (*links*, vias da cidade) que seriam servidos (*Service Flag AB/BA*). De posse dos dados da densidade demográfica, calculou-se o número de habitantes presentes nos bairros onde a ACIMAR realiza a coleta seletiva, por meio da ferramenta *overlay*, assim como o volume correspondente de recicláveis. No total, nove bairros são abrangidos, contabilizando 31.124 habitantes.

Na Figura 4.21 são apresentados em destaque os nove bairros citados. Destaca-se que a associação não realiza a coleta seletiva em todas as vias pertencentes a cada bairro. O tempo demandado para a realização do serviço de coleta em cada *link* foi obtido através da divisão do comprimento de cada *Link* (*Lenght*) pela velocidade média do caminhão, adotada em 8 km/h<sup>9</sup>. De modo análogo, o tempo médio nos *links* onde não há realização do serviço de coleta foi calculado a partir da divisão da distância (*Lenght*) pela velocidade nas vias, considerada conforme os valores adotados nos cenários anteriores.

Na construção da rede de transportes optou-se por não ter restrições de movimento, somente definiu-se uma penalização para retornos em “U”, pois segundo o trabalho de Deluqui (2003) o TransCAD não se mostrou eficiente com restrições em manobras de conversão à direita e à esquerda. Como nas simulações anteriores, a rotina de roteirização foi aplicada com o objetivo minimizar a distância total percorrida pelo caminhão. Inicialmente,

---

<sup>9</sup> Dado coletado quando a ACIMAR realizou a coleta porta-a-porta em um bairro da cidade, mas esse tipo de sistema de coleta foi abandonado, segundo catadores, pela restrição de ser apenas um caminhão.

adotou-se a hipótese de que 20% das 31.124 pessoas residentes nos bairros de coleta iriam participar do programa, ou seja, quando convertido em volume, esse valor corresponde aproximadamente ao dobro da quantidade de materiais que a associação coleta.

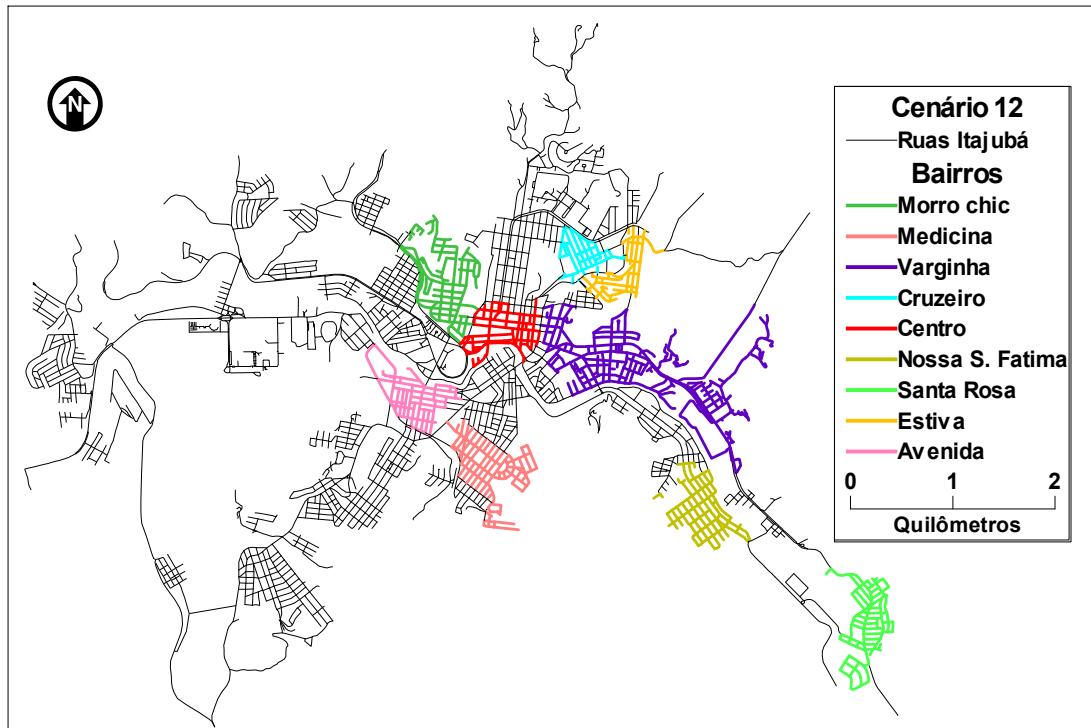


Figura 4.22 - Bairros com coleta seletiva porta-a-porta

Mesmo que o caminhão não tenha sua capacidade de carga completada após a coleta em um determinado bairro, optou-se que ele seguiria para o galpão. Essa decisão foi embasada nas características de trabalho do sistema de coleta porta-a-porta, em que os catadores precisariam percorrer parte dos trechos de coleta a pé. Desta forma, o intuito da viagem até ao galpão é permitir a troca da equipe de trabalho. Na Tabela 4.30 são apresentados os resultados da roteirização em arcos. Com exceção do acréscimo da coluna frequência da coleta, a estrutura da tabela foi mantida a mesma dos cenários anteriores.

Em relação à frequência da coleta (calculada conforme a capacidade de carga do caminhão), sugere-se que no centro da cidade seja duas vezes por semana, embora uma única viagem fosse o suficiente para transportar o volume de materiais estimado, em muitos pontos comerciais, por exemplo, os recicláveis não podem ser armazenados durante muitos dias. No total seriam necessárias 32h04min por semana para realizar a coleta seletiva porta-a-porta (incluindo os tempos correspondentes as coletas do programa Cata Treco e das doações realizadas no período da tarde, 12h).

Tabela 4.30 - Resultados da roteirização em arcos no Cenário 12

Bairros	Frequência da coleta semanal	Volume diário [m <sup>3</sup> ]	Volume semanal [m <sup>3</sup> ]	Distância [km]	Distância semanal [km]	Tempo [h]	Tempo semanal [h]
Varginha1	1	4,54	31,78	24,25	24,25	2:21	2:21
Varginha2	1	4,24	29,68	23,70	23,70	2:22	2:22
Santa Rosa	1	4,17	29,19	17,39	17,39	1:48	1:48
Avenida	1	3,92	27,44	20,36	20,36	1:42	1:42
Morro Chic	1	3,85	26,95	26,86	26,86	2:06	2:06
Medicina	1	3,81	26,67	23,90	23,90	1:58	1:58
Centro	2	3,55	24,85	21,81	43,62	1:48	3:36
N. S. Fátima	1	3,16	22,12	14,69	14,69	1:36	1:36
Estiva	1	2,82	19,74	20,15	20,15	1:39	1:39
Cruzeiro	1	2,25	15,75	16,42	16,42	1:16	1:16
<b>Total</b>	--	<b>36,31</b>	<b>254,17</b>	<b>209,53</b>	<b>231,34</b>	<b>18:36</b>	<b>20:04</b>

Especificamente o bairro Varginha, devido sua maior dimensão, foi dividido em dois setores menores de coleta de modo a diminuir a distância total que seria percorrida na mesma viagem, conforme é ilustrado na Figura 4.23.

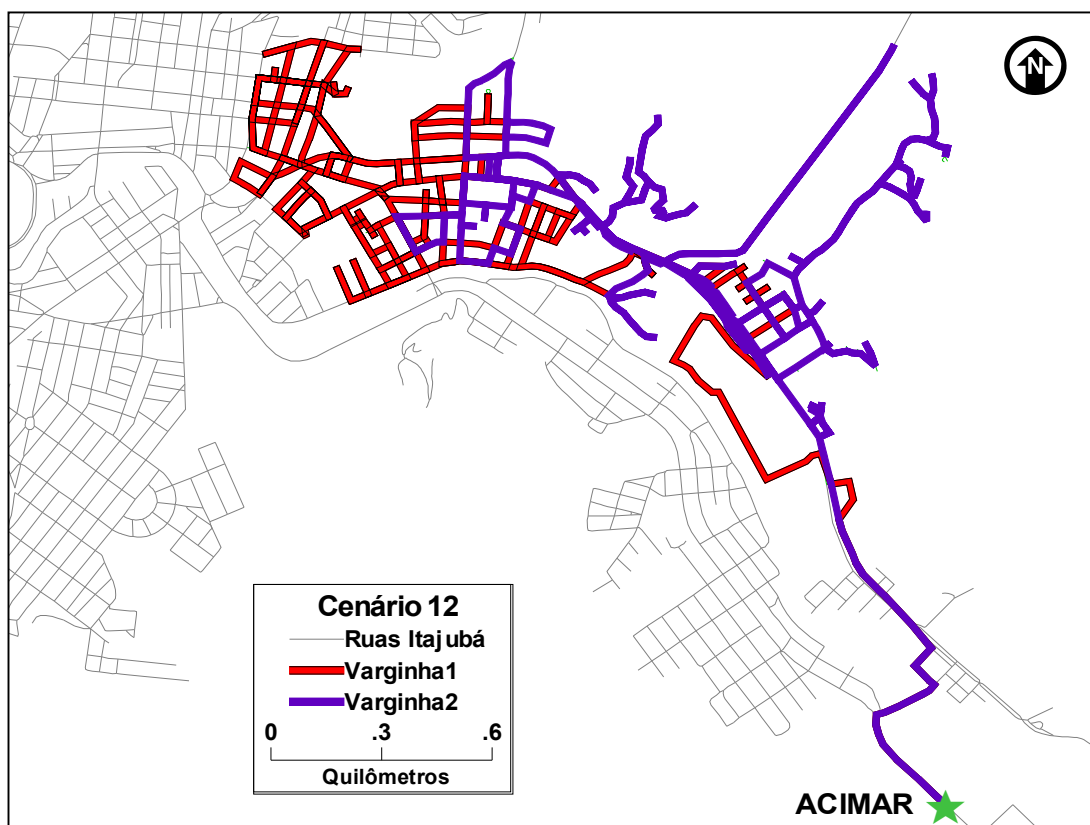


Figura 4.23 - Roteirização em arcos no bairro Varginha no Cenário 12

A Tabela 4.31 traz a comparação entre o sistema real de coleta e o cenário atual, como realizado para os outros grupos de simulações. O Cenário 12 mostra que mesmo se a coleta seletiva porta-a-porta fosse realizada, em que o caminhão tem que percorrer todas as vias dos bairros onde a ACIMAR coleta os recicláveis, tanto a distância quanto o tempo apresentariam

reduções significativas quando comparado com o sistema real. Assim, considerando as exclusões das viagens ao aterro, a ACIMAR poderia analisar a adoção da coleta porta-a-porta, que neste caso permitiria obter uma quantidade mais elevada (116,68%) de materiais e os catadores não precisariam mais coletar e “arrastar” os recicláveis nos *bags* (o que limita a quantidade de coleta).

Tabela 4.31 - Comparação entre o sistema de coleta da ACIMAR e o Cenário 12

Cenários	Volume total [m <sup>3</sup> ]	Variação [%]	Distância total [km]	Variação [%]	Tempo total [h]	Variação [%]
Real	117,30	--	439,00	--	61:16	--
12	254,17	+116,68	231,34	-47,30	32:04	-47,66

Como citado na fundamentação teórica, o sistema de coleta porta-a-porta tende a apresentar um custo mais elevado de transporte (distâncias percorridas) quando comparado com a coleta realizada por meio de PEVs. Porém, em consequência da eliminação dos gastos correspondentes a aquisição, instalação e manutenção dos *containers*, os custos totais do sistema porta-a-porta podem ser menores do que a coleta por meio de PEVs. Ressalta-se que para obter os volumes estimados, mesmo que o sistema porta-a-porta possa contribuir para uma maior participação da população, a regularidade da coleta é extremamente importante, assim como campanhas educativas que incentivem os moradores a contribuir com o programa de coleta seletiva.

#### **Cenário 13 - Roteirização do veículo na coleta seletiva porta-a-porta com 40 % de participação da população**

Nesse cenário é considerada a hipótese de que a taxa de participação da população no programa de coleta seletiva seria elevada para 40% do total de pessoas residentes nos bairros de coleta (12.449 habitantes). Os mesmos procedimentos do Cenário 12 foram seguidos para a rotina de roteirização em arcos. Destaca-se que a distância percorrida em casa bairro possui os mesmos valores do obtido no Cenário 12. Em relação à velocidade, devido à elevação do volume dos materiais, adotou-se a estimativa que nos arcos onde forem realizadas as coletas a velocidade do caminhão será de 7 km/h.

Os resultados da roteirização em arcos são apresentados na Tabela 4.32. De acordo com a frequência da coleta, somente nos últimos três bairros da tabela é que uma única viagem por semana do caminhão seria o suficiente para transportar o volume estimado dos materiais. No total seriam demandadas 47h42min por semana para realizar a coleta seletiva porta-a-porta (incluindo os tempos correspondentes as coletas do programa Cata Treco e das

doações realizadas no período da tarde). Diferentemente do Cenário 12, em que a jornada de trabalho de 44h semanais nem chegaria a ser completada, no Cenário 13 seria necessária a realização de algumas horas-extras.

Tabela 4.32- Resultados da roteirização em arcos no Cenário 13

Bairros	Frequência da coleta semanal	Volume diário [m <sup>3</sup> ]	Volume semanal [m <sup>3</sup> ]	Distância [km]	Distância semanal [km]	Tempo [h]	Tempo semanal [h]
Varginha1	2	9,08	63,56	24,25	47,40	2:36	5:12
Varginha2	2	8,48	59,36	23,70	48,50	2:34	5:08
Santa Rosa	2	8,33	58,32	17,39	34,78	1:58	3:56
Avenida	2	7,84	54,89	20,36	40,72	1:51	3:42
Morro Chic	2	7,70	53,90	26,86	53,72	2:19	4:38
Medicina	2	7,62	53,35	23,90	47,80	2:09	4:18
Centro	2	7,09	49,63	21,81	43,62	1:57	3:54
N. S. Fátima	1	6,32	44,24	14,69	14,69	1:46	1:46
Estiva	1	5,64	39,48	20,15	20,15	1:47	1:47
Cruzeiro	1	4,49	31,43	16,42	16,42	1:21	1:21
<b>Total</b>	--	<b>72,62</b>	<b>508,13</b>	<b>209,53</b>	<b>367,80</b>	<b>20:18</b>	<b>35:42</b>

A Figura 4.24 mostra a roteirização em arcos do caminhão no bairro Morro Chic, um dos mais distantes da ACIMAR e por isso apresenta a maior distância total na roteirização: 26,86 km. Desse total, 11,68 km correspondem aos arcos (*links*) onde há serviço de coleta e os 15,18 km restantes referem-se aos arcos onde não há o serviço. Tais valores são semelhantes aos resultados observados para o bairro Medicina, cuja distância total é de 23,90 km, dos quais 10,53 km correspondem aos arcos onde há serviço de coleta e os 13,37 km restantes referem-se aos arcos onde não há o serviço de coleta.

Na Tabela 4.33 contém as comparações entre os Cenários 12 e 13, assim como entre o sistema real de coleta e os referidos cenários. Observa-se que no Cenário 13 que mesmo dobrando a estimativa do volume de recicláveis, as variáveis distância e tempo aumentariam em uma ordem de grandeza menor, o que significa que o sistema de coleta no Cenário 12 é mais eficiente. Em relação ao sistema real haveria um aumento significativo no volume de materiais (333,36%) e ainda assim poderiam ser obtidas reduções no tempo e distância.

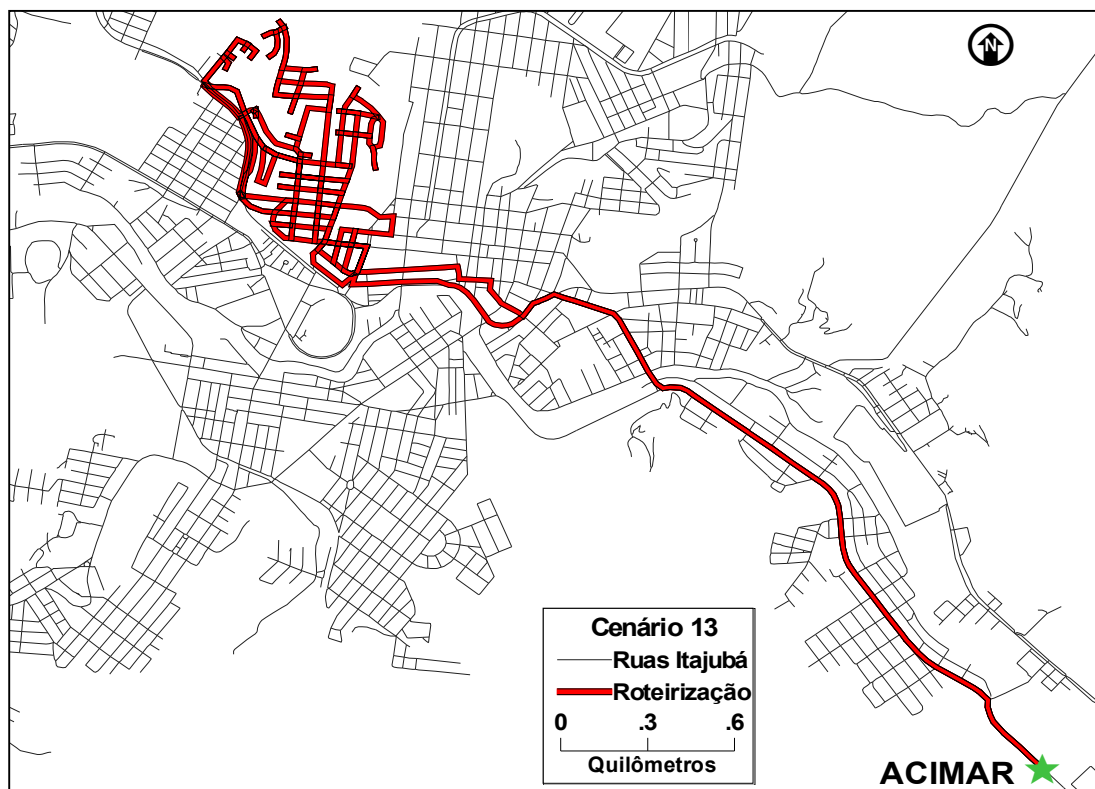


Figura 4.24 - Roteirização em arcos do bairro Morro Chic no Cenário 13

Tabela 4.33 - Comparação entre os cenários 12 e 13

Cenários	Volume total [m <sup>3</sup> ]	Variação [%]	Distância total [km]	Variação [%]	Tempo total [h]	Variação [%]
12	254,17	--	231,34	--	32:04	--
13	508,34	+100,00	367,80	+58,98	47:42	+48,75
Real	117,30	--	439,00	--	61:16	
12	254,17	+116,68	231,34	-47,30	32:04	-47,66
13	508,34	+333,36	367,80	-16,21	47:42	-22,14

#### **Cenário 14 - Roteirização do veículo na coleta seletiva porta-a-porta com 80% de participação da população**

Este cenário é o mais otimista dentre todos que foram simulados neste trabalho. Considera-se que a participação da população seria de 80% do total da população residente nos bairros onde já existe a coleta seletiva. Como no Cenário 13, o aumento no volume de recicláveis resultará na diminuição da velocidade do caminhão, que neste caso será de 6 km/h nos arcos onde forem realizadas as coletas. Todas as outras variáveis são mantidas conforme os valores adotados para os cenários 12 e 13. Na Tabela 4.34 são apresentados os resultados da roteirização em arcos. Em decorrência da elevação do volume, nos bairros com maiores geração de resíduos, a frequência da coleta deveria ser elevada para três vezes por semana.

Tabela 4.34 - Resultados da roteirização em arcos no Cenário 14

Bairros	Frequência da coleta semanal	Volume diário [m <sup>3</sup> ]	Volume semanal [m <sup>3</sup> ]	Distância [km]	Distância semanal [km]	Tempo [h]	Tempo semanal [h]
Varginha1	3	18,17	127,19	24,25	72,75	2:56	8:48
Varginha2	3	16,97	118,79	23,70	71,10	2:54	8:42
Santa Rosa	3	16,66	116,62	17,39	52,17	2:13	6:39
Avenida	3	15,69	109,83	20,36	61,08	2:03	6:09
Morro Chic	3	15,41	107,87	26,86	80,58	2:35	7:45
Medicina	3	15,26	106,75	23,90	71,70	2:24	7:12
Centro	3	14,19	99,33	21,81	65,43	2:09	6:27
N. S. Fátima	2	12,64	88,48	14,69	29,38	1:58	3:56
Estiva	2	11,28	78,96	20,15	40,30	1:57	3:54
Cruzeiro	2	8,98	62,86	16,42	32,84	1:28	2:56
<b>Total</b>	--	<b>145,21</b>	<b>1016,68</b>	<b>209,53</b>	<b>577,33</b>	<b>22:37</b>	<b>62:28</b>

No total seriam demandadas 74h28min por semana para realizar a coleta seletiva porta-a-porta (incluindo os tempos correspondentes as coletas do programa Cata Treco e das doações realizadas no período da tarde). Como o tempo total ultrapassaria a jornada de trabalho permitida pela CLT, sugere-se remanejar outro motorista para efetuar parte das coletas. A Figura 4.25 mostra a roteirização do bairro Cruzeiro, que possui a menor estimativa de geração de recicláveis, e do bairro Nossa Senhora de Fátima, que apresenta a menor distância. Esses valores são devido à proximidade desta última região ao galpão da associação, em que dos 14,69 km que seriam percorridos pelo caminhão, 8,83 km correspondem aos arcos onde há o serviço de coleta. Já no bairro Cruzeiro dos 16,42 km totais, 4,95 km correspondem aos arcos onde há o serviço de coleta.

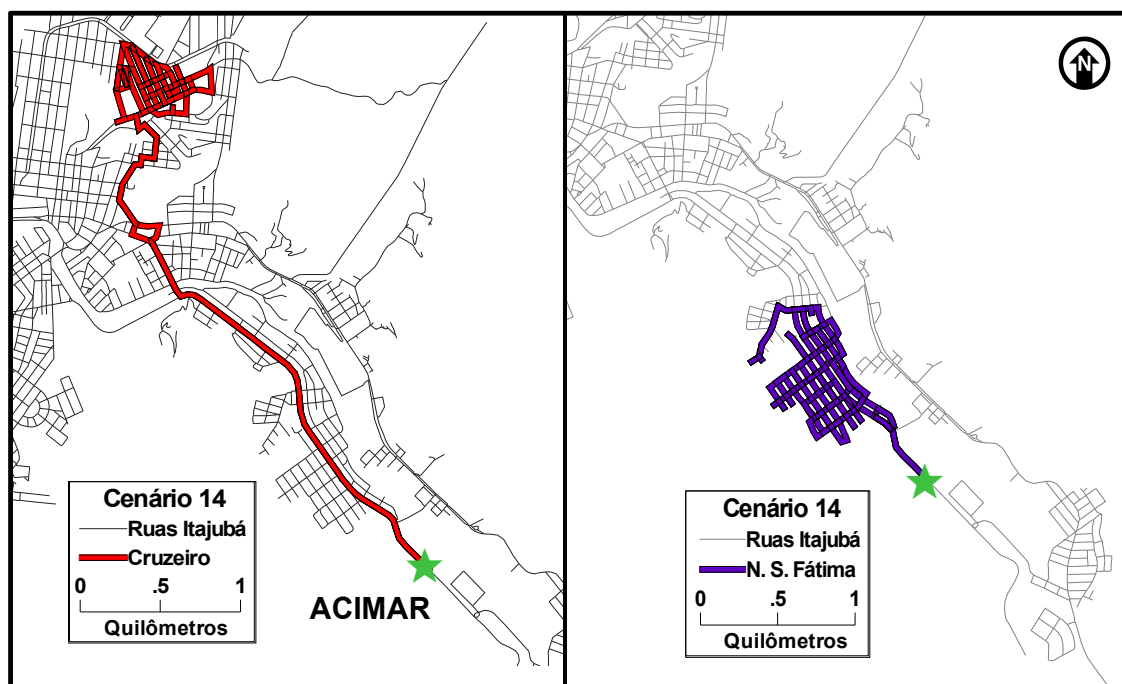


Figura 4.25 - Roteirização em arcos nos bairros Cruzeiro e N. S. Fátima no Cenário 14

A Tabela 4.35 traz as comparações entre os Cenários 12, 13 e 14, assim como entre o sistema real e os cenários supracitados. Um comportamento semelhante ao verificado entre os Cenários 12 e 13, pode ser observado entre os Cenários 12 e 14, em que a elevação da estimativa de materiais (300%) é em uma grandeza superior aos aumentos verificados nas variáveis distância e tempo. Ao se comparar o Cenário 14 com o sistema real, verifica-se um aumento muito significativo no volume de materiais (766,73%) que seriam coletados e, embora também haja elevação no tempo e na distância, são em menores proporções quando comparados com o aumento do volume.

Ressalta-se uma vez mais que para obter os valores estimados para o volume, tanto campanhas educativas quanto a regularidade da coleta são extremamente importantes para incentivar os moradores a contribuir com a separação na fonte. Mas, acredita-se que seja mais provável uma maior participação das pessoas na coleta porta-a-porta do que na coleta por meio de PEVs, já que no primeiro caso não é exigido da população o deslocamento até um ponto de entrega para depositar os recicláveis.

Tabela 4.35 - Comparação entre os cenários do Grupo V

Cenários	Volume total [m <sup>3</sup> ]	Variação [%]	Distância total [km]	Variação [%]	Tempo total [h]	Variação [%]
12	254,17	--	231,34	--	32:04	--
13	508,34	+100,00	367,80	+58,98	47:42	+48,75
14	1016,68	+300,00	577,33	+149,55	74:28	+132,22
Real	117,30	--	439,00	--	61:16	--
12	254,17	+116,68	231,34	-47,30	32:04	-47,66
13	508,34	+333,36	367,80	-16,21	47:42	-22,14
14	1016,68	+766,73	577,33	+31,51	74:28	+21,54

Após as conclusões das simulações, no tópico 4.3 será apresentada uma análise geral dos melhores cenários pertencentes a cada um dos cinco grupos de simulações, assim como uma comparação entre os mesmos e o sistema real.

### 4.3. ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS

A Tabela 4.36 traz a comparação entre os melhores cenários simulados e o sistema real. A variação entre eles é calculada por meio da estimativa do volume que seria coletado a cada quilômetro percorrido [m<sup>3</sup>/km] pelo caminhão. Especificamente em relação ao número de veículos, destaca-se que para todos os cenários apenas um caminhão seria o suficiente para realizar a coleta seletiva, embora em alguns cenários tenha sido sugerido remanejar outro



motorista ou mesmo alocar mais um veículo para não extrapolar a jornada de trabalho permitida pela CLT.

Dentre as simulações do Grupo I, como era previsto, o Cenário 3 (excluem-se as viagens ao aterro) foi o que apresentou os melhores resultados. O fato do aterro localizar-se a Noroeste da cidade e o galpão da associação a Sudeste prejudica significativamente o sistema logístico da ACIMAR. Essa localização em extremos obriga o caminhão a percorrer grandes distâncias. Assim, um aumento 157,14% poderia ser alcançado no indicador  $m^3/km$  se fossem excluídas as viagens ao aterro e, se tal mudança fosse efetivada, todo sistema logístico seria afetado positivamente. Ressalta-se que embora o Cenário 3 apresente o menor aumento desse indicador dentre os melhores cenários dos cinco grupos de simulações, esse percentual de melhoria seria mais facilmente alcançado quando comparado com os outros cenários que exigem mudanças mais complexas no sistema logístico.

Tabela 4.36 - Comparação entre os melhores cenários por grupos

Grupos/Cenários	Volume por semana [ $m^3$ ]	Distância por semana [km]	Tempo por semana [h]	Veículos	Volume por km [ $m^3/km$ ]	Varição $m^3/km$ [%]
Real	117,3	439,00	61:16	1	0,28	--
Grupo I: Cenário 3	117,3	162,30	44:42	1	0,72	<b>+157,14</b>
Grupo II: Cenário 5	512,4	194,52	52:32	1	2,63	<b>+839,28</b>
Grupo III: Cenário 7	338,66	139,60	38:20	1	2,42	<b>+764,28</b>
Grupo IV: Cenário 11	909,65	571,60	91:06	1	1,59	<b>+467,85</b>
Grupo V: Cenário 14	1.016,68	577,33	74:28	1	1,76	<b>+528,57</b>

Um ponto referenciado na fundamentação teórica por Roviriego (2005) é que o sistema de coleta híbrido (real), embora demande mais mão de obra, tem um menor custo de transporte (distância). No entanto, ao analisar e comparar os resultados da Tabela 4.36, observa-se que isso não se concretiza para o caso da ACIMAR, em que a quantidade de materiais coletada pelos catadores em relação à distância total percorrida é muito baixa, apresentando muitos percursos improdutivos. Ressalta-se que a descontinuidade da programação da coleta, o problema dos catadores chegarem aos bairros após o caminhão de coleta convencional e mesmo à falta de constantes campanhas educativas, premissa assumida nos outros cenários simulados, afeta diretamente na quantidade de materiais recicláveis coletada.

O Cenário 5 (simulação da coleta seletiva por meio da instalação de 61 PEVs) é o que apresentou os melhores resultados, em termos do indicador volume por quilômetro, dentre os cinco grupos de simulações. Quando comparado com o sistema real, o Cenário 5 passaria a

coletar a cada quilômetro percorrido 839,28% a mais de recicláveis. Situação semelhante é verificada no Cenário 7 (simulação da coleta seletiva por meio da localização e instalação de 41 PEVs), que apresentou o segundo melhor indicador  $\text{m}^3/\text{km}$  (764,28%) quando comparado com o sistema real.

Os expressivos aumentos da produtividade nos Cenários 5 e 7 são devidos à exclusão da obrigatoriedade das viagens até ao aterro, assim como são consequência da natureza deste tipo de programa de coleta seletiva, que permite coletar uma quantidade elevada de materiais agrupados nos pontos de entrega. Ressalta-se também que, durante a coleta de dados, foi verificado no sistema real que muitas vezes o caminhão realizava as viagens ao aterro com pouca carga. Não havia na associação uma estratégia que permitisse acumular mais materiais no caminhão para então realizar a pesagem no aterro. Assim, essa situação também contribui para que, no geral, o indicador  $\text{m}^3/\text{km}$  seja tão baixo, quando comparado com os melhores cenários simulados, já que a quantidade de materiais que o veículo transporta em cada viagem influencia diretamente na produtividade.

Outro ponto positivo da coleta seletiva por meio da instalação dos PEVs é que os catadores não necessitariam mais caminhar a pé pelas vias da cidade para fazer a coleta e o transporte dos materiais até os pontos de encontro com o caminhão. Destaca-se também que o número de associados que seria necessário para as atividades de recolher os materiais nos *containers* e transportá-los até o caminhão seria menor do que o demandado no sistema real (híbrido). O tempo gasto na triagem dos materiais, considerado um gargalo, seria outro importante ganho, uma vez que por meio dos *containers* os materiais já se encontrariam previamente separados. Porém, uma barreira comumente citada em pesquisas sobre a instalação de PEVs é conseguir uma alta taxa de participação da população, assim como os custos de aquisição, de instalação e de manutenção dos *containers*, que podem ser considerados obstáculos para a efetivação deste tipo de programa.

Ainda sobre o Grupo III, o Cenário 8 (sugere a mudança da ACIMAR para o mesmo local do aterro), embora apresente valores inferiores ao obtido no Cenário 7, apresenta-se como uma alternativa caso seja mantida a obrigatoriedade das pesagens do veículo (em que a possibilidade da instalação de uma balança na associação seria rejeitada, por exemplo). O referido cenário, ao ser comparado com o sistema real apresentou um valor seis vezes maior no indicador  $\text{m}^3/\text{km}$  percorrido. Mesmo considerando o atual sistema de coleta da ACIMAR, pode-se deduzir que caso ocorresse à mudança da associação para o mesmo local da balança,

resultados semelhantes poderiam ser alcançados, uma vez que o veículo não precisaria atravessar a cidade constantemente devido à localização do aterro e do galpão da associação.

A partir do Grupo de simulações IV, as viagens ao aterro foram totalmente excluídas dos cenários, uma vez que pelas simulações anteriores ficou comprovado o quanto é prejudicial para a eficiência de todo o sistema realizar tais percursos. Conforme a Tabela 4.36, o Cenário 11 é o que apresentou o melhor desempenho no Grupo IV e, até o referido grupo, possui as maiores estimativas nos volumes dos materiais que seriam coletados. Porém, quando comparado com os Cenários 5 e 7, o indicador  $m^3/km$  do Cenário 11 possui um coeficiente inferior. Embora nesses três cenários o número de pontos de entrega seja o mesmo, a estratégia adotada no Cenário 11 para a localização dos PEVs é que influencia para a maior distância e para a maior estimativa na quantidade de materiais. Assim, foi considerada a hipótese de que a distância fixa entre os pontos de entrega, a localização e distribuição dos PEVs no Cenário 11 (mais uniforme e geograficamente mais esparsa) permitiria uma maior cobertura do programa e conseqüentemente a coleta de maiores volumes de materiais.

Para o Grupo V foi simulado o sistema de coleta seletiva porta-a-porta, em que o caminhão percorre toda a extensão das vias para coletar os materiais. Para fins de comparação, os mesmos bairros que a associação já realiza a coleta seletiva foram selecionados. Conforme os resultados da Tabela 4.36, o Cenário 14 é o que apresentou os melhores resultados deste grupo, em que poderia ser alcançado um valor 528,57% maior no indicador  $m^3/km$ , quando comparado com o sistema real. Isso significa que o sistema de coleta atual da associação, em que os catadores andam ao longo das vias coletando os materiais nos bairros e os transportando por meio de *bags*, ainda é bem menos eficiente do que se o veículo de coleta passasse por todas as vias dos bairros coletando os recicláveis porta-a-porta. Destaca-se também que o Cenário 14, devido à praticidade da coleta seletiva porta-a-porta, é o que apresentou as maiores estimativas de coleta de materiais recicláveis. Em contrapartida, foi o cenário que apresentou as maiores distâncias dentre todos os grupos de simulações, conseqüência da natureza deste tipo de sistema de coleta, que tende a apresentar uma distância mais elevada em suas rotas.

Em relação à estimativa do tempo, com exceção dos Cenários 11 e 14, verificaram-se reduções neste parâmetro quando comparado com o sistema real. Ressalta-se que mesmo nos dois cenários citados, o volume de recicláveis que seria coletado é muito superior ao apresentado pela associação. Conforme a prática atual da associação, os catadores gastam uma parcela considerável de tempo para separar os materiais recicláveis que estão depositados

para a coleta convencional e acondicionados juntamente com os demais resíduos (não recicláveis). Assim, uma premissa considerada nos cenários em que o sistema de coleta seria porta-a-porta, por exemplo, é que os recicláveis já se encontrariam previamente separados pela população.

No geral, dentre todos os cenários simulados, destacam-se as seguintes questões:

- Os catadores temem pelo acondicionamento nos *containers*, que podem facilitar a apropriação dos recicláveis por parte dos catadores que não são associados, principalmente os materiais com maior valor de mercado;
- Com o crescimento da geração de recicláveis, os PEVs passariam a não ter capacidade suficiente para manter o mesmo nível de serviço. Desta forma, seria imprescindível aumentar a capacidade de acondicionamento, o número de *containers* e/ou frequência da coleta. Como consequência, os custos deste tipo de coleta tendem a ser ainda maiores;
- O maior valor apresentado para a participação da população na coleta seletiva por meio de PEVs foi simulado no Cenário 11, que corresponderia a uma cobertura de 26,83% do total da população urbana. No referido cenário, verificou-se que mesmo com a frequência da coleta seletiva sendo feita diariamente, inclusive aos domingos, o volume dos *containers* necessários para atender a demanda ainda seria elevado, chegando a ultrapassar 6 m<sup>3</sup>. Desta forma, a perspectiva de abrangência do programa para toda a cidade (universalidade da coleta seletiva) somente por meio de PEVs esbarraria em problemas relacionados ao número e volume dos *containers* que seriam necessários;

Assim, conclui-se que embora os cenários simulados apresentem distintas formas de dimensionar um programa de coleta seletiva, ao se pensar em futuras mudanças para a ACIMAR e na abrangência de coleta (universalidade) na cidade, o Cenário 14 é o que apresenta as melhores perspectivas. Mesmo que o indicador de volume coletado por quilômetro seja menor que o verificado nos Cenários 5 e 7 (instalação de PEVs), onde a abrangência da coleta pode ser limitada, visto que as dimensões e o número de *containers* precisariam ser significativamente elevados para abranger mais pessoas. Ressalta-se ainda que uma elevação no volume dos materiais coletados afetaria diretamente a triagem e o armazenamento dos materiais, desta forma seria necessária uma reestruturação dessas atividades na associação.

## 5. CONCLUSÕES

A logística reversa, alternativa para a destinação dos materiais recicláveis presentes nos Resíduos Sólidos Urbanos, devido a sua peculiaridade de trabalhar em muitos casos, com produtos de baixo valor agregado (pós-consumo), requer tanto (ou até mais) atenção e planejamento quanto à logística direta. Assim, o objetivo geral desta pesquisa foi utilizar um Sistema de Informações Geográficas para Transportes no planejamento da logística reversa de um programa de coleta seletiva de materiais recicláveis em meio urbano, tendo como objeto de estudo uma associação de catadores de materiais recicláveis na cidade de Itajubá/MG.

Em termos gerais, pode-se constatar que os principais problemas logísticos existentes no objetivo de estudo (ACIMAR) são consequência direta da má estruturação do sistema de coleta como um todo. Com as primeiras simulações (Grupos I, II e III) foi possível observar que as maiores reduções nos parâmetros de roteirização (distância e tempo) foram obtidas quando excluiu-se a necessidade das viagens até ao aterro para as pesagens do caminhão. Assim, uma melhoria considerável na produtividade poderia ser alcançada a curto prazo, para o caso específico da coleta seletiva de Itajubá, com a exclusão dessas viagens ao aterro.

Tais resultados evidenciam a importância de uma atuação mais enfática da associação de catadores junto à prefeitura municipal e à empresa terceirizada, que presta os serviços de limpeza pública, para que as condições que foram descritas fossem alteradas e mesmo evitadas. Embora exista tanto por parte do poder público quanto da associação o desejo de expandir a coleta seletiva para outros bairros da cidade, assim como a perspectiva de obter mais um veículo para a coleta, ressalta-se que antes dessas ações é necessário planejar e dimensionar os recursos que já existem na associação. Como verificado no Cenário 14 (Grupo V), seria possível coletar uma quantidade muito superior de materiais, com um indicador de volume coletado por quilômetro ( $m^3/km$ ) bem mais elevado do que apresentado no sistema real e utilizando o mesmo número de veículos (um).

Ressalta-se que uma das afirmações da associação de catadores é que para expandir a coleta seletiva seria necessário mais um caminhão. No entanto, como já discutido e demonstrado nesta pesquisa, o problema não é o número de veículos, uma vez que um caminhão seria suficiente para abranger mais áreas da cidade, mas sim planejar a melhor forma para sua utilização, eliminando os percursos improdutivos. Destaca-se também a necessidade de campanhas para incentivar a população a separar os resíduos antes de descartá-los, pois essa atitude pode aumentar não apenas a eficiência da logística reversa dos

materiais recicláveis, como também trazer melhorias na qualidade de vida dos catadores e de outros trabalhadores que fazem parte desta cadeia.

Nos cenários que simularam a instalação de PEVs e a coleta seletiva porta-a-porta, além da perspectiva de aumentar o volume de materiais que seriam coletados, outra vantagem que poderia ser revertida para a ACIMAR e para o sistema logístico reverso como um todo, é a possibilidade de poder retirar dos catadores o encargo de percorrer a vias da cidade a pé e coletar os recicláveis, muitas vezes dispostos junto com os demais resíduos. No entanto, alcançar as taxas estabelecidas para a participação da população não é uma tarefa simples e para atingir um maior número de pessoas, no caso dos PEVs, seria necessário incluir mais pontos de entrega, o aumento da capacidade dos *containers* e/ou da frequência da coleta. Tais questões poderiam esbarrar em dificuldades devido à necessidade de mais espaço para a instalação dos *containers* e aos custos associados. Assim, o sistema de coleta porta-a-porta tem como ponto positivo não necessitar de recursos para a instalação de *containers*, além de apresentar melhores expectativas de coleta de materiais, uma vez que tende a facilitar uma maior participação das pessoas.

Especificamente em relação às hipóteses e estimativas adotadas, que conduziram todas as simulações e levaram a resultados melhores do que o sistema real, embora possam ser questionadas quanto a sua efetividade, o intuito principal deste trabalho foi descrever o método utilizado para o planejamento e dimensionamento de um programa de coleta seletiva, uma vez que os valores das variáveis e parâmetros podem ser modificados e simulados novamente no SIG à medida que novas necessidades e restrições forem estabelecidas. Assim, destaca-se a oportunidade para a utilização de *softwares* como o TransCAD (SIG-T), que possibilitou o tratamento de dados geográficos, a geração de diferentes cenários e alternativas de cálculos para uma análise fundamentada nos efeitos das decisões sobre um problema real de planejamento e tomada de decisão no processo logístico da coleta seletiva de materiais recicláveis.

Uma crítica frequentemente encontrada em trabalhos acadêmicos que utilizaram o TransCAD no âmbito dos RSU é a limitação do *software* não considerar a viagem de descarga do veículo quando sua carga útil é completada. Porém, como neste trabalho a descarga do caminhão de coleta é realizada no mesmo local de seu ponto de partida, esse não foi um problema. Destaca-se apenas que em alguns cenários onde havia a necessidade de duas passagens pelo mesmo ponto (aterro) foi preciso utilizar para uma das viagens os procedimentos de caminho mínimo (*shortest path*) de forma induzida (externa à rotina de

roteirização), assim como a manipulação de janelas de tempo para manter a precedência das visitas.

Embora este trabalho seja obviamente de cunho acadêmico, acredita-se que o processo de geração de cenários possa contribuir para melhorias no sistema de coleta seletiva praticado pela ACIMAR. Infelizmente, o que se vê na prática, é que muitas pesquisas realizadas na área de RSU ainda não são consideradas e efetivadas pelos tomadores de decisão. Isso deve-se, em parte, a algumas dimensões e características peculiares do setor, como por exemplo: contratos de longo-prazo firmados entre empresas e autoridades locais e barreiras impostas por legislações (como a fiscal - materiais pós-consumo não possuem nota fiscal - e a bitributação). Questões políticas podem burocratizar muitas ações e prejudicar a eficiência e eficácia do sistema de Limpeza Pública como um todo.

Embora o Brasil apresente altos índices de reciclagem para determinados materiais, quando se investiga de perto as condições de associações percebe-se o quanto ainda é necessário avançar nessa área e melhorar as condições de trabalho dos catadores, que formam a base da cadeia reversa da reciclagem no país. Apesar disso, deve-se destacar as ações positivas que já vêm sendo realizadas em Itajubá/MG, assim como em tantos outros municípios brasileiros, para a destinação adequada dos materiais presentes nos RSU. Como consequência, recursos naturais podem ser poupados por meio da utilização de matérias-primas reaproveitáveis e emprego/renda são gerados.

*“Em qualquer sociedade, a quantidade de resíduos produzidos é maior que a quantidade de bens consumidos”* (ROCHA e JOHN, 2003, p.5).

### **Limitações**

As principais limitações deste trabalho são:

- Esta pesquisa teve como foco principal modelar e simular cenários no TransCAD, sem se aprofundar nos aspectos matemáticos dos algoritmos utilizado pelo *software*.
- Devido à dificuldade de se reproduzir e modelar nos cenários as inúmeras características e restrições presentes na realidade, adotou-se neste trabalho algumas simplificações listadas ao longo do texto;
- Quanto ao objeto de estudo e seu sistema de coleta, apesar de apresentar muitos pontos comuns com outras associações de catadores, possui características

peculiares que não podem, a princípio, ser generalizadas para os demais empreendimentos;

- Destaca-se também que não foram realizadas projeções para o aumento do volume de resíduos devido, por exemplo, ao crescimento populacional ou ao aumento do poder aquisitivo, uma vez que o intuito era promover a comparação com a situação atual.

### **Recomendações para trabalhos futuros**

Sugere-se, para pesquisas futuras:

- Realizar projeções sobre o aumento populacional e a taxa de geração de resíduos com o passar do tempo;
- Verificar os custos fixos e variáveis do transporte e da coleta dos diferentes tipos sistema de coleta;
- Demonstrar os ganhos reais dos diversos tipos de coleta seletiva;
- Calcular os pesos específicos para os resíduos gerados na cidade de Itajubá;
- Pesquisar as variações na geração dos resíduos conforme os dias da semana, sazonalidades e regiões (bairros) socioeconômicas de modo a permitir, por exemplo, a estimativa das dimensões dos *containers* e frequência da coleta com mais precisão.



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AALBERS, R.; VOLLEBERGH, H. R. J. An Economic Analysis of Mixing Wastes. **Tinbergen Institute Discussion Paper**, n. 094/3, 2005. Disponível em: <<http://ssrn.com/abstract=834504>> Acesso: 10 maio 2010.

ABBASI, G. Y. A decision support system for bank location selection. **International Journal of Computer Applications in Technology**, vol. 16, n. 4, p. 202-210, 2003.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2005**. Disponível em: [http://www.abrelpe.org.br/pan\\_2005/cap4.pdf](http://www.abrelpe.org.br/pan_2005/cap4.pdf) > Acesso: 20 nov. 2009.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2008**. Disponível em: <[http://www.abrelpe.org.br/panorama\\_2008.php](http://www.abrelpe.org.br/panorama_2008.php)> Acesso: 22 nov. 2009.

ADLMAIER, D.; SELLITTO, M. A. Embalagens retornáveis para transporte de bens manufaturados: um estudo de caso em logística reversa. **Revista Produção**, vol. 17, n. 2, p. 395-406, 2007.

AHLUWALIA, P. K; NEMA, A. K., A life cycle based multi-objective optimization model for the management of computer waste. **Resources, Conservation and Recycling**, vol. 51, n. 4, p. 792-826, 2007.

AL-SALEM, S. M.; LETTIERI, P. Life Cycle Assessment (LCA) of Municipal Solid Waste Management in the State of Kuwait. **European Journal of Scientific Research**, vol. 34, n. 3, p. 395-405, 2009.

ALVAREZ, J. V. L.; LARRUCEA, M. A.; SANTANDREU, F. S.; FUENTES, A. F. Containerisation of the selective collection of light packaging waste material: The case of small cities in advanced economies. **Cities**, vol. 26, p. 339–348, 2009.

APAYDIN, O.; GONULLU M. T. Route optimization for solid waste collection: Trabzon (Turkey) case study. **Global NEST Journal**, vol. 9, n. 1, Istanbul-Turkey, p. 6-11, 2007.

APPOLINÁRIO, F. **Dicionário de metodologia científica: um guia para a produção do conhecimento científico**. São Paulo: Atlas, 2004.

ARAMPATZIS, G.; KIRANOUDIS, C. T.; SCALOUBACAS, P.; ASSIMACOPOULOS, D. A GIS-based decision support system for planning urban transportation policies. **European Journal of Operational Research**, vol. 152, p. 465–475, 2004.

AYRES, R. U. Metal recycling: economic and environmental implications. **Resources, Conservation and Recycling**, vol. 21, p. 145–173, 1997.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de suprimentos/logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 191 p.

BARÃO, F. R. **Problemas de localização e roteamento aplicados na otimização da coleta de resíduos sólidos urbanos no município de Passo Fundo-RS**. Dissertação (Mestrado).

Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo/RS, 2008.

BARROS, A. J. S.; LEHFELD, N. A. S. **Fundamentos de Metodologia: Um Guia para a Iniciação Científica**. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 2000.

BATATA, A. G. R. O uso do SIG na roteirização de veículos de coleta de Resíduos Sólidos Urbanos. In: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville/SC, 2003. **Anais...** Joinville, 2003.

BAUTISTA, J.; PEREIRA, J. Modeling the problem of locating collection areas for urban waste management. An application to the metropolitan area of Barcelona. **Omega**, vol. 34, p. 617-629, 2006.

BERRY, J. K. A brief history and probable future of geotechnology. Disponível em: <[http://www.innovativegis.com/basis/Papers/Other/Geotechnology/Geotechnology\\_history\\_future.htm](http://www.innovativegis.com/basis/Papers/Other/Geotechnology/Geotechnology_history_future.htm)> Acesso: 25 maio 2010.

BERRY, J. K.; MEHTA, S. An Analytical Framework for GIS Modeling. Disponível em: <<http://www.innovativegis.com/basis/Papers/Other/GISmodelingFramework/>> Acesso: 25 maio 2010.

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Modelling and simulation: operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations Production Management**, vol. 22, n. 2, p. 241-264, 2002.

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos**. São Carlos: EESC/USP, 1999. 120 p.

BOROUSHAKI, S.; MALCZEWSKI, J. Measuring consensus for collaborative decision-making: A GIS-based approach. **Computers, Environment and Urban Systems**, vol. 34, n. 4, p. 322-332, 2010.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logística Empresarial: O Processo de Integração da Cadeia de Suprimento**. São Paulo: Editora Atlas, 2001.

BRAGA, M. C. B.; RAMOS, S. I. P. Desenvolvimento de um modelo de banco de dados para sistematização de programas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos em serviços de limpeza pública. **Engenharia Sanitária Ambiental**, vol. 11, n. 2, p. 162-168, abr.-jun. 2006.

BRAGA, J. O. N.; COSTA, L. A.; GUIMARÃES, A. L.; TELLO, J. C. R. O uso do geoprocessamento no diagnóstico dos roteiros de coleta de lixo da cidade de Manaus. **Engenharia Sanitária Ambiental**, vol. 13, n. 4, p. 387-394, out.-dez. 2008.

BRASIL. Consolidação das leis do trabalho. Decreto – lei nº 5.452, de 1 de maio de 1943 aprova a consolidação das leis do trabalho. **Lex - Coletânea de legislação**: Edição Federal, São Paulo, v. 7, 1943. Suplemento.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 3. ed. rev. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004.

BRASIL. **Lei nº 13.576, de 6 de julho de 2009**. Institui normas e procedimentos para a reciclagem, gerenciamento e destinação final de lixo tecnológico do Estado de São Paulo. JusBrasil Legislação, 2009. Disponível em:<<http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/817923/lei-13576-09-sao-paulo-sp>> Acesso: 15 abr. 2010.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e outras providências. Disponível em:<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)> Acesso: 15 ago. 2010.

BRASILEIRO, L. A. **Análise do Roteamento de Veículos na Coleta de Resíduos Domésticos, Comerciais e de Serviços de Saúde**. Tese de Livre-Docência. Universidade Estadual Paulista - UNESP, Ilha Solteira. 2004.

BRASILEIRO, L. A.; LACERDA, M. G. Análise do uso de SIG no roteamento dos veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares. **Engenharia Sanitária Ambiental**, vol. 13, n. 4, p. 356-360, out-dez 2008.

BRINGHENTI, J.; LAIGNIER, I. T. R.; SANTANA, R. D.; GÜNTHER, W. M. R.; SILVA, W. R.; MARTINS, E. P. Gestão de programas de coleta seletiva por postos de entrega voluntária no município de Vitória - ES. In: Anais do XXXIX Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, San Juan, 2004. **Anais...** San Juan: AIDIS - Forjando el Ambiente que Compartimos, 2004.

BRITO, R. A. F. **Uso de sistema de informação geográfica para a análise do transporte e disposição final dos resíduos sólidos**. Dissertação (mestrado), UNESP, Ilha Solteira/SP, 2006.

CALIJURI, M. L., ROHM, S. A. **Sistemas de Informações Geográficas**. Viçosa: CCET/DEC, Universidade Federal de Viçosa, 1995.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; MEDEIROS, J. S. Fundamentos Epistemológicos da Ciência da Geoinformação. In: CÂMARA, G., MONTEIRO, A. M. V.; MEDEIROS, J. S. (editores). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2004.

CÂMARA, G.; QUEIROZ, G. R. Arquitetura de sistemas de informação geográfica. In: CÂMARA, G., MONTEIRO, A. M.; MEDEIROS, J. S. (editores). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2004.

CÂMARA, G. Representação computacional de dados geográficos. In: Casanova, M.; CÂMARA, G.; DAVIS, C.; VINHAS, L.; QUEIROZ, G. R. (orgs.) **Bancos de Dados Geográficos**. Curitiba: MundoGEO, 2005.

CÂMARA, G. **Diferença entre geoprocessamento e geotecnologia**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <quelsj2004@yahoo.com.br> em 7 nov. 2010.

CARLEIAL, L. M. F.; CRUZ, B. O. (coords.) **Pesquisa sobre pagamento por Serviços ambientais urbanos para a gestão de resíduos sólidos**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, Brasília, 2010.

CARRARA, C. M. **Uma aplicação do SIG para a localização e alocação de terminais logísticos em áreas urbanas congestionadas**. Dissertação (Mestrado). Engenharia de Transportes – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, USP, 2007.

CARTER, C. R.; ELLRAM, L. M. Reverse Logistics: A review of the literature and framework for future investigation. **Journal of Business Logistics**, vol. 19, n. 1, p. 85-102, 1998.

CASTRO, L. B. **Avaliação do serviço de coleta de resíduos sólidos domiciliares em cidade de médio porte utilizando sistemas de informações geográficas e receptores do sistema de posicionamento por satélite**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Uberlândia, 2006.

CBO. **Classificação Brasileira de Ocupações**. Disponível em: <<http://www.mteco.gov.br/cbsite/pages/home.jsf>> Acesso: 10 abr. 2009.

CEMPRE. Compromisso Empresarial para Reciclagem. **Pesquisa Ciclosoft**, 2008. Disponível em: <[http://www.cempre.org.br/ciclosoft\\_2008.php](http://www.cempre.org.br/ciclosoft_2008.php)> Acesso: 11 jun. 2009.

CERQUEIRA, L. O desafio de gerar menos. **Revista Saneamento Ambiental**, n. 57, p. 16-19, maio-jun. 1999.

CHANG, Ni-Bin. GIS Technology for vehicle routing and scheduling in solid waste collection systems. **Journal of Environmental Engineering**, vol. 123, n. 9, p. 901-910, 1997.

CHANG, N.; WEI, Y. L. Siting recycling drop-off stations in urban area by genetic algorithm-based fuzzy multiobjective nonlinear integer programming modeling. **Fuzzy Sets and Systems**, vol. 14, p. 133-149, 2000.

CHANG, Y.; LIU, C.; HUNG, C.; HU, A.; CHEN, S. Change in MSW characteristics under recent management strategies in Taiwan. **Waste Management**, vol. 28, n. 12, p. 2243-2455, 2007.

CHAVES, G. L. D.; ALCÂNTARA, R. L. C. Logística Reversa: uma Análise da Evolução do Tema Através de Revisão da Literatura. In: XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Salvador/BA, 2009. **Anais...** Salvador: ENEGEP, 2009.

CHAVES, G. L. D.; BATALHA, M. O. Os consumidores valorizam a coleta de embalagens recicláveis? Um estudo de caso da logística reversa em uma rede de hipermercados. **Revista Gestão & Produção**, vol. 13, n. 3, p. 423-434, set.-dez. 2006.

CHENG, E. W. L.; LI, H. Exploring Quantitative methods for project location selection. **Building and Environment**, vol. 39, p. 1467-1476, 2004.

CHUNG, C. A. **Simulation modeling handbook: a practical approach**. Florida: CRC Press, 2004, 574p.

CHURCH, R. L. Geographical information systems and location science. **Computers & Operations Research**, v.29, p. 541-562, 2002.

CHOUINARD, M.; D'AMOURS, S.; AÏT-KADI, D. Integration of reverse logistics activities within a supply chain information system. **Computers in Industry**, vol. 56, n. 1, p. 105-124, 2005.

CHWIF, L. **Redução de modelos de simulação de eventos discretos na sua concepção: uma abordagem causal**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações**. 2. ed. São Paulo, Editora dos Autores, 2007.

COSTA, L. M. G.; PIRES, H. M. Modelo baseado no sistema depósito reembolsável para a busca do equilíbrio entre a geração e a reciclagem do resíduo sólido pneu no Brasil. **Revista Gestão Industrial**, vol. 6, n. 2, p. 94-109, 2010.

COUTINHO, R. S. S.; CARVALHO, A. M. Discutir a relação: Resíduos de Serviço de Saúde, impactos ambientais e ação educativa. **Candombá - Revista Virtual**, vol. 3, n. 2, p. 81-94, jul - dez 2007.

CUNHA, C. B. Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais. **Transportes**, Rio de Janeiro, vol. 8, n. 2, p. 51-74, nov. 2000.

CUNHA, V.; CAIXETA FILHO, J. V. Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos: estruturação e aplicação de modelo não-linear de programação por metas. **Gestão da Produção**, vol. 9, n. 2, p.143-161, Ago. 2002.

D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. (coords.) 2. ed. **O lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, Compromisso Empresarial para Reciclagem - CEMPRE, (Publicação IPT). 2000. 370p.

DABLANC, L. Goods transport in large European cities: difficult to organize, difficult to modernize. **Transportation Research**, Part A, vol. 41, n. 3, p. 280-285, 2007.

De BRITO, M. P.; R. DEKKER. A framework for Reverse Logistics. In: R. Dekker, K. Inderfurth, L. van Wassenhove and M. Fleischmann (eds.). **Quantitative Approaches to Reverse Logistics**. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 2004.

DELUQUI, K. K. **Roteirização para veículo de coleta de resíduos sólidos domiciliares usando um sistema de informações geográficas – SIG**. Dissertação (mestrado), Engenharia Sanitária - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

DEMAJOROVIC, J. Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos as novas prioridades. **Revista de Administração de Empresas**, vol. 35, n.3, p. 88-93, 1995.

DESMOND, M. Municipal solid waste management in Ireland: assessing for sustainability. **Irish Geography**, vol. 39, n. 1, p. 22-33, 2006.

DIAS, S. M. **Construindo a cidadania: avanços e limites do projeto de coleta seletiva em parceria com a ASMARE**. Dissertação (mestrado). Instituto de Geociências da UFMG. Belo Horizonte, 2002.

DIAS, S. L. F. G.; TEODÓSIO, A. S. S. Estrutura da cadeia reversa: “caminhos” e “descaminhos” da embalagem PET. **Revista Produção**, vol. 16, n. 3, p. 429-441, Set.-Dez. 2006.

DIJKGRAAF, E.; GRADUS, R. Cost savings in pay-by-use pricing of household waste - The case of Netherlands. **Resource and Energy Economics**, vol. 26, n. 4, p. 353-371, 2004.

DOGAN, K.; DULEYMAN, S. Cost and financing of municipal solid waste collection services in Istanbul. **Waste Management and Research**, vol. 21, n.5, p. 480-485, 2003.

DOMINGUES, C. V.; FRANÇOSO, M. T. Aplicação de geoprocessamento no processo de modernização da gestão municipal. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 60/01, p. 71-78, 2008.

DORNIER, P. P.; ERNST, R.; FENDER, M.; KOUVELIS, P. **Logística e Operações Globais**. São Paulo: Atlas, 2000.

EUNOMIA. **Waste collection: to charge or not to charge?** A final report to IWM (EB). 2003. Disponível em: <<http://www.ciwm.co.uk/mediastore/FILES/10529.pdf>> Acesso: 20 abr. 2010.

FARKUH NETO, A.; LIMA, R. S. Roteirização de veículos de uma rede atacadista com o auxílio de sistemas de informações geográficas (SIG). **Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção**, n.5, p. 18-39, Jun 2006.

FELDMANN, F. Consumismo. In: TRIGUEIRO, A. (Coord.). **Meio ambiente no século 21**. Rio de Janeiro: Sextante, 2003. p. 143-157.

FERRARA, I.; MISSIONI, P. Recycling and waste diversion effectiveness: evidence from Canada. **Environmental & Resource Economics**, vol. 30, p. 221-238, 2005.

FIGUEREDO, K. A Logística do Pós - Venda. **Revista Tecnológica**. Ano VIII, n. 80, 2002.

FINNVEDEN, G.; JOHANSSON, J.; LIND, P.; MOBERG, A. Life cycle assessment of energy from solid waste-part 1: general methodology and results. **Journal of Cleaner Production**, vol. 13, p. 213-229, 2005.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLEISCHMANN, M.; KRIKKE, H. R.; DEKKER, R.; FLAPPER, S. D. P. A characterisation of logistics networks for product Recovery. **Omega**, vol. 28, p. 653-666, 2000.

FONSECA, A. O. P. **Contributo para a Organização e Planeamento de um Sistema de Recolha de Resíduos Sólidos Urbanos na Ilha de São Vicente – Cabo Verde**. Dissertação (Mestrado). Universidade Nova de Lisboa, Pós-graduação em Engenharia do Ambiente, perfil Gestão e Sistemas Ambientais, Lisboa, 2009.

GEORGAKELLOS, D. A. The use of the LCA polygon framework in waste management. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, vol. 17, n. 4, p. 490-507, 2006.

GHOSE, M. K.; DIKSHIT A. K.; SHARMA, S. K. A GIS based transportation model for solid waste disposal. A case study on Asansol municipality. **Waste Management**, vol. 26, n. 11, p. 1287-1293, 2006.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2007.

GONZALEZ-TORRE P. L.; ADENSO-DIAZ, B.; RUIZ-TORRES, A. Some comparative factors regarding recycling collection systems in regions of the USA and Europe. **Journal of Environmental Management**, vol. 69, p. 129-138, 2003.

GONÇALVES, A. T. T. **Potencialidade energética dos resíduos sólidos domiciliares e comerciais do município de Itajubá/MG**. Dissertação (mestrado). Pós-graduação em Engenharia da Energia, Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, 2007.

GONÇALVES, M. A. **O trabalho no lixo**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista-UNESP, Presidente Prudente/SP, 2006.

GOODCHILD, M. F. Geographical Information Science. **International journal of geographical Information Systems**, vol. 6, n.1, p.31-45, 1992.

GRIMBERG, M. E. **Governança democrática e um novo paradigma de gestão de resíduos sólidos**. São Paulo, 2005. In: Mobilização cidadã e inovações democráticas nas cidades. Edição especial para o FSM 2005 P. 32-37

GRIMBERG, M. E. Abrindo os sacos de “lixo”: um novo modelo de gestão de resíduos está em curso no país. **Instituto Pólis**, 2007. Disponível em: <[http://www.polis.org.br/artigo\\_interno.asp?codigo=176](http://www.polis.org.br/artigo_interno.asp?codigo=176)>. Acesso em: 17 jul. 2009.

GUABIROBA, R. C. S.; D'AGOSTO, M. A. Modelo de Cadeias de Coleta de Óleo Residual de Fritura para a Produção de Biodiesel Baseado em Cenários Nacional e Internacional. In: XXII Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes, 2008, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ANPET, 2008.

HALLIDAY, H. C. **Desafios Logísticos da Coleta e Transporte de Resíduos: Um estudo de caso do município do Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação de Administração do Instituto COPPEAD, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

HAMAD, R. **Modelo para localização de instalações em escala global envolvendo vários elos da cadeia logística**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Logísticos) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

HEWHOOD, I.; CORNELIUS, S.; CARVER, S. **An Introduction to geographic Information System**. 2 ed. Pearson Education limited, Essex, 2002.

HONG, S. The effects of unit pricing system upon household solid waste management: The Korean experience. **Journal of Environmental Management**, Vol. 57, n.1, p. 1-10, 1999.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. PNSB - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2008. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_visualiza.php?id\\_noticia=1691&id\\_pagina=1](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1691&id_pagina=1)> Acesso: 12 jul. 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável Brasil 2010**. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/ids/default\\_2010.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/ids/default_2010.shtm)>. Acesso: 03 Jun. 2010.

JAMES, B. **Lixo e Reciclagem**. São Paulo, Scipione, 1997. 43p.

JENKINS, R. R.; MARTINEZ, S. A.; PALMER, K.; PODOLSKY, M. J. The determinants of household recycling: a material-specific analysis of recycling program features and unit pricing. **Journal of Environmental Economics and Management**, vol. 45, n. 2, p. 294-318, 2003.

JOHANSSON, O. M. The effect of dynamic scheduling and routing in a solid waste management system. **Waste Management**, vol. 26, p. 875-885, 2006.

KARA, S.; RUGRUNGRUAN, F.; KAEBERNICK, H. Simulation modeling of reverse logistics networks. **International Journal of Production Economics**, vol. 106, n. 1, p. 61-69, 2007.

KIM, B.-IN; KIM, S.; SAHOO, S. Waste collection vehicle routing problem with time windows. **Computers & Operations Research**, vol. 33, p. 3624-3642, 2006.

KINNAMAN, T. C.; FULLERTON, D. Garbage and recycling with endogenous local policy. **Journal of Urban Economics**, vol. 48, p. 419-442, 2000.

KIPPERBERG, G. A comparison of household recycling behaviors in Norway and the United States. **Environmental & Resource Economics**, vol. 36, p. 215-235, 2007.

KROOK, J.; MÅRTENSSON, A.; EKLUND, M. Evaluating waste management strategies – a case of metal-contaminated waste wood. **Resources, Conservation and Recycling**, vol. 52, p. 103-118, 2007.



LACERDA, L. Logística reversa: uma visão sobre os conceitos básicos e as práticas operacionais. Rio de Janeiro: COPPEAD/UFRJ, 2002. Disponível em: [http://www.ilos.com.br/site/index.php?option=com\\_content&task=view&id=763&Itemid=74](http://www.ilos.com.br/site/index.php?option=com_content&task=view&id=763&Itemid=74) >. Acesso: 03 jan. 2010.

LACERDA, M. G. **Análise de uso de SIG no sistema de coleta de resíduos sólidos domiciliares em uma cidade de pequeno porte**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2003.

LAIGNIER, I. T. R.; BRAGA, F. S.; COUTO, M. C. L. Caracterização gravimétrica e comercial dos resíduos sólidos urbanos de sistema de coleta seletiva em postos de entrega voluntária. In: VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002, Vitória. **Anais...** Vitória: SIBESA, 2002.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling and analysis**. 3. ed. Boston: McGraw-Hill, 2000.

LEITE, P. R. **Logística Reversa: Meio Ambiente e Competitividade**. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

LEITE, P. R.; BRITO, E. P. Z.; SILVA, A. A. Hábitos empresariais brasileiros em Logística Reversa. In: XI Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais, 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SIMPOI, 2008.

LEMES, D. C. S. S. **Geração e análise do cenário futuro como um instrumento do planejamento urbano e de transportes**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Uberlândia, 2005.

LI, J. Q.; BORENSTEIN, D.; MIRCHANDANI, P. B. Truck scheduling for solid waste collection in the City of Porto Alegre, Brazil. **Omega**, 36, 1133-1149, 2008.

LIMA, F. P. A.; OLIVEIRA, F. G. Produtividade técnica e social das associações de catadores: por um modelo de reciclagem solidária. In: KEMP, V. H. & CRIVELLARI, H. M. T. (orgs.). **Catadores na cena urbana: construção de políticas socioambientais**, p. 225-248. Belo Horizonte: Autêntica Editora, 2008.

LIMA, R. S. **Bases para uma metodologia de apoio à decisão para serviços de educação e saúde sob a ótica dos transportes**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

LINDERHOF, V.; KOOREMAN, P.; ALLERS, M.; WIERSMA, D. Weight-based pricing in the collection of household waste: the Oostzaan case. **Resource and Energy Economics**, vol. 23, n. 4, p. 359-371, 2001.

LIU, L. Urban Environmental Performance in China: A Sustainability Divide? **Sustainable Development**, vol.17, p. 1-18, 2009.

LIVA, P. B. G.; PONTELO, V. S. L.; OLIVEIRA, W. S. Logística Reversa. In: **Gestão e Tecnologia Industrial**. Instituto de Educação Tecnológica - IETEC, 2003. Disponível em: <<http://www.ietec.com.br/site/techoje/categoria/abrirPDF/301>>. Acesso: 5 Maio 2009.

LOGAREZZI, A. Educação ambiental em resíduo: uma proposta de terminologia. In: CINQUETTI, H. C.; LOGAREZZI, A. **Consumo e resíduo**: fundamentos para o trabalho educativo. São Carlos: EdUFSCar, 2006. p. 85-118.

LOPES, D. P. **Análise dos deslocamentos dos usuários do serviço de transporte público portadores de deficiência de locomoção no município do Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado). Programa de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ/COPPE, 2009.

LOPES, D. P. **Reestruturação da rede de distribuição de uma empresa de varejo do setor têxtil com a utilização de SIG**. Universidade Estácio de Sá, Rio de Janeiro, 2005.

LOPES FILHO, J. I. O. **Pós-avaliação da Previsão de Demanda por Transportes no Município de Fortaleza**. Dissertação de Mestrado. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2003.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Geographic information systems and science**. Wiley: New York, 2001.

LOSEKANN, M. Barcelona usa sistema subterrâneo para descartar lixo. **Jornal Nacional**. 08/05/2010. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2010/05/barcelona-usa-sistema-subterraneo-para-descartar-lixo.html>> Acesso: 15 Maio 2010.

MAHADEVAN, B.; DEB, M. A survey based framework for Recovery and Re-manufacturing issues of Orphan Products. In: 18<sup>th</sup> Annual Conference of the Production and Operations Management Society, 2007, Dallas/USA. **Proceedings...** Dallas: POMS, 2007. Disponível em: <[http://www.poms.org/conferences/poms2007/CDProgram/Topics/full\\_length\\_papers\\_files/007-0126.pdf](http://www.poms.org/conferences/poms2007/CDProgram/Topics/full_length_papers_files/007-0126.pdf)> Acesso: 5/10/2009.

MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de Marketing: uma orientação aplicada**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 720p.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia científica**: ciência e conhecimento científico; métodos científicos; teoria, hipótese e variáveis. 5. ed. São Paulo, SP: Atlas, 2007.

MARK, D. M. Geographic Information Science: defining the field. In: DUCKHAN, M.; GOODCHILD, M. F.; WORBOYS, M. (coords.) **Foundations of Geographic Information Science**. New York: Taylor & Francis, 2003. p.3-18.

MARQUES NETO, J. C. **Gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil**. São Carlos: RiMa, 2005. 162 p.

- MARTINHON, C.; LUCENA, A.; MACULAN, N. (2004) Stronger K-tree relaxations for the vehicle routing problem. **European Journal of Operational Research**, vol.158, n.1, p.56-71, 2004.
- MASSUKADO, L. M.; ZANTA, V. M. SIMGERE – Software para Avaliação de Cenários de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Domiciliares. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**, vol.11, n.2, 133-142, 2006.
- McDOUGALL, F. R.; WHITE, P. R.; FRANKE, M.; HINDLE, P. **Integrated solid waste management: a life cycle inventory**. 2 ed. Oxford: Blackwell Science, 2001.
- MEDEIROS, L. F. R.; MACÊDO, K. B. Catador de material reciclável: uma profissão para além da sobrevivência? **Psicologia & Sociedade**, vol. 18, n. 2, p. 62-71; mai./ago. 2006.
- MINNER, S. Strategic Safety Stocks in Reverse Logistics Supply Chains. **International Journal of Production Economics**, vol. 71, n. 1-3, p. 417-428, 2001.
- MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. 2. Ed. rev. atual. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2010.
- MITROFF, I. I.; BETZ, F.; PONDY, L. R.; SAGASTI, F. On managing science in the systems age: two schemas for the study of science as a whole system phenomenon. **Interfaces**, vol. 4, n. 3, p. 46-58, 1974.
- MIURA, P. C. O. **Tornar-se catador: uma análise psicossocial**. Dissertação (Mestrado), Pós-Graduação em Psicologia Social. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. São Paulo/SP, 2004.
- MOBERG, A.; FINNVEDEN, G.; JOHANSSON, J.; LIND, P. Life cycle assessment of energy from solid waste - part 2: landfilling compared to other treatment methods. **Journal of Cleaner Production**, vol. 13, p. 231–240, 2005.
- MONTEIRO, B. R. **Aplicações de sistemas de informação geográfica móveis: um estudo voltado para iniciativas de governo eletrônico na administração pública municipal**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, 2007.
- MONTEIRO, J. H. P.; ZVEIBIL, V. Z. (coords.) **Manual de gerenciamento de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.
- MORRISSEY, A. J.; BROWNE, J. Waste management models and their application to sustainable waste management. **Waste Management**, vol. 24, n. 3, p. 297-308, 2004.
- MROZEK, J. R. Revenue Neutral Deposit/Refund Systems. **Environmental Resource Economics**, vol. 17, p. 183-193, 2000.
- NAZÁRIO, P. GIS: Definições e aplicações na logística. **Revista Tecnológica**, ano IV, n. 35, 1998.

NEIVA, P. Logística reversa. **Revista Veja**. Edição 2145, ano 42, n. 52, p. 246-249, Dez. 2009.

OECD. Organisation for Economic Cooperation and Development. **Economic, Environmental and Social Statistics**. Organization for Economic Cooperation and Development Publishing, Paris, France. DOI: 10.1787/18147364. OECD Factbook 2010:

OLIVEIRA, R. L.; ABREU, J. C. Políticas de apoio à gestão ao empreendimento coletivo dos catadores de materiais recicláveis em três municípios. VII Congresso de produção científica da UFSJ, 2008, São João Del-Rei/MG. **Anais...** São João Del-Rei, 2008. CD-ROM.

OLIVEIRA FILHO, D. J. (Coord.) **Análise do custo de geração de postos de trabalho na economia urbana para o segmento dos catadores de materiais recicláveis**. Relatório Técnico, 2006. Disponível em: <<http://www.coletasolidaria.gov.br/menu/material-de-apoio/Analise%20do%20Custo%20de%20Geracao%20de%20Postos%20de%20Trabalho.pdf>>. Acesso: 12 mar. 2010.

OWEN, S. H.; DASKIN, M. S. Strategic facility location: A review. **European Journal of Operational Research**, vol. 111, n. 3, p. 423-447, 1998.

PALHARES, C. R. C. **Desenvolvimento de subcentros como forma de planejamento urbano e de transportes em cidades de porte médio**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia- UFU, 2008.

PARTYKA, J. G.; HALL, R. W. On the Road to Service. **ORMS Today**, vol. 27, n.4, p. 26-30, 2000.

PEIXOTO, K.; CAMPOS, V. B. G.; D'AGOSTO, M. A. Localização de Equipamentos para Coleta Seletiva de Lixo Reciclável em Área Urbana. In: 2º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento, Urbano, Regional, Integrado, Sustentável, 2006, Braga. **Anais...** Braga: PLURIS, 2006.

PELIZARO, C.; SILVA, A. N. R. Uma avaliação comparativa de performance de algoritmos de software comerciais para roteirização de veículos. In: **Confederação Nacional do Transporte. (Org.). Transporte em Transformação VII**. Brasília - DF: Editora da Confederação Nacional do Transporte, 2003, v., p. 181-198.

PGCS. **Programa Goiânia Coleta Seletiva – PGCS**. Disponível em: <<http://www.goiania.go.gov.br/shtml/coletaseletiva/principal.shtml>>. Acesso: 05 maio de 2010.

PINTO, C. L. B.; MONTEZANO, R. M. S. Avaliação por opções reais de projeto de Sistema de Informações Geográficas. **Gestão.Org**, vol. 3, n. 3, p. 197-213, set./dez. 2005.

PIRES, N. **Modelo para a logística reversa dos bens de pós-consumo em um ambiente de cadeia de suprimentos**. Tese (doutorado) Curso e Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC , 2007.

POKHAREL, S.; MUTHA, A. Perspectives in reverse logistics: A review. **Resources, Conservation and Recycling**, vol. 53 p.175-182, 2009.

POLAZ, C. N. M.; TEIXEIRA, B. A. N. Indicadores de sustentabilidade para a gestão municipal de resíduos sólidos urbanos: um estudo para São Carlos (SP). **Engenharia Sanitária Ambiental**, vol.14, n.3, p.411-420, jul/set 2009.

PORTO, M. F. S.; JUNCA, D. C. M.; GONÇALVES, R. S.; FILHOTE, M. I. F. Lixo, trabalho e saúde: um estudo de caso com catadores em um aterro metropolitano no Rio de Janeiro, Brasil, **Caderno de saúde pública**, Rio de Janeiro, 20, n.6, p. 1503-1514, 2004.

PORTUGAL, L. S.; GOLDNER, L. G. **Estudo de polos geradores de tráfego e de seus impactos nos sistemas viários e de transporte**. 1 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2003.

PRADO, D. F. M. **Busca Tabu aplicada ao problema de localização de facilidades com restrições de capacidade e fonte única**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Estadual de Campinas - Unicamp/ SP, 2007.

PRADO FILHO, J. F.; SOBREIRA, F. G. Desempenho operacional e ambiental de unidades de reciclagem e disposição final de resíduos sólidos domésticos financiados pelo ICMS ecológico de Minas Gerais. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, vol. 12, n . 1, Jan./mar., p.52-61, 2007.

PRAHINSKI, C.; KOCABASOGLU, C. Empirical research opportunities in reverse supply chains. **Omega**, vol. 34, n. 6, p. 519-532, 2006.

RAFAELI NETO, S. L. Sistema de apoio à decisão: uma contribuição à teoria em geoprocessamento. In: VI Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial, IV Encontro de Cadastro Técnico Multifinalitário para os Países do Mercosul, I Encontro de Cadastro Técnico Multifinalitário para os Países da América Latina, 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis : Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 2004.

RAUPP, F. M.; BEUREN, I. M. Metodologia da Pesquisa Aplicável às Ciências Sociais. In: BEUREN *et al.* (orgs.). **Como Elaborar Trabalhos de Monografias em Contabilidade: teoria e prática**. São Paulo: Atlas, 2003.

REIJNDERS, L. A normative strategy for sustainable resource choice and recycling. **Resources, Conservation and Recycling**, vol. 28, p. 121–133, 2000.

RIBEIRO, H.; BESEN, G. R. Panorama da coleta seletiva no Brasil - desafios e perspectivas a partir de 3 estudos de caso. **InterfACHES**, n. 4, Agosto 2007.

RIBEIRO, S. Q.; CARVALHAL, M. D. A. Precarização do trabalho dos Catadores de material reciclável e a organização coletiva na Associação dos Catadores de Material Reciclável - ACAMAR - Cascavel - Paraná. In: 12º encuentro de geógrafos de America Latina, 2009, Montevideo, Uruguay. Caminando en una América Latina en Transformación. **Anais ...** Montevideo, 2009, vol. 01. p. 01-15.

RIBEIRO, L. M. P.; MACHADO, R. T. M. A Importância da Logística na Gestão de Resíduos Sólidos em um Pequeno Município Mineiro: Decisões Estratégicas no Processo de

Transporte e Roteirização. **Revista de Administração da UNIMEP**, vol. 7, n. 2, p. 118-137, Maio/Agosto, 2009.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 1999.

ROBAINA, L. E. D.; TRENTIN, R.; NARDIN, D.; CRISTO, S. S. V. Método e Técnicas Geográficas Utilizadas na Análise e Zoneamento Ambiental. **Geografias**, vol. 5, n. 2, jul./dez., p. 36-49, 2009.

ROBINSON, E. **Simulation: the practice of model development and use**. John Wiley and Sons Ltd., England, 2004, 339p.

ROCHA, J. C.; JOHN, V. M. **Utilização de resíduos na construção habitacional**. Porto Alegre: ANTAC - Coleção Habitare, vol. 4, 2003.

RODRIGUES, M. G. V. **Metodologia da pesquisa: elaboração de projetos, trabalhos acadêmicos e dissertações em ciências militares**. 3. ed. Rio de Janeiro: EsAO, 2005.

ROGERS, D. S.; TIBBEN-LEMBKE, R. An examination of reverse logistics practices. **Journal of Business Logistics**, vol. 22, n.2, p.129-148, 2001.

ROMERO, B. C. **Análise da localização de plataformas logísticas: aplicação ao caso do ETSP - Entrepasto Terminal São Paulo - da CEAGESP**. Dissertação (Mestrado). Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Logísticos. Escola Politécnica, - USP, São Paulo, 2006.

ROQUE, L. P. Deputados decidem reintroduzir logística reversa para eletroeletrônicos na lei de resíduos. **Revista Sustentabilidade (on line)**. Publicado em 08/10/2009. Disponível em: <<http://www.revistasustentabilidade.com.br/reciclagem/foram-reintroduzidos-os-eletronicos-e-as-lampadas-no-artigo-logistica-reversa-da-politica-nacional-de-residuos-solidos-pnrs>> Acesso: 12 nov. de 2009.

ROSE, A. **Uma Avaliação Comparativa de Alguns Sistemas de Informação Geográfica Aplicados aos Transportes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Transportes) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

ROVIRIEGO, L. F. V. **Proposta de uma metodologia para a avaliação de sistemas de coleta seletiva de resíduos sólidos domiciliares**. Dissertação (mestrado). Escola Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

RUBIO, S.; CHAMORRO, A.; MIRANDA, F. J. Characteristics of the research on reverse logistics (1995-2005). **International Journal of Production Research**, p. 1099 - 1120, 2008.

SANTOS, L.; RODRIGUES, J. C.; CURRENT, J. R. Implementing a multi-vehicle multi-route spatial decision support system for efficient trash collection in Portugal. **Transportation Research Part A**, vol. 42, p. 922-934, 2008.

- SARGENT, R. G. Validation and verification of simulation models. In: Mason, S. J.; Hill, R. R.; Mönch, L.; Rose, O.; Jefferson, T.; Fowler, J. W. (eds.) 40th WINTER SIMULATIONS CONFERENCE. **Proceedings...** Miami, FL, USA, 2008, p. 157-169.
- SCHIOCHET, V.; BRANDES, M. Espaço e cadeias produtivas solidárias: o caso da reciclagem. In: III Encontro De Economia Catarinense. Economia Solidária, 2009, Blumenau/SC. **Anais...** Blumenau: FURB, 2009.
- SHIH, L. Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan Resources. **Conservation and Recycling**, vol. 32, n. 1, p. 55-72, 2001.
- SINNECKER, C. A. **Estudo sobre a importância da logística reversa em quatro grandes empresas da região metropolitana de Curitiba**. Dissertação (Engenharia de Produção e Sistemas), Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2007.
- SKUMATZ, L. A.; FREEMAN, D. J. **Pay as you Throw (PAYT) in the US: 2006 Update and Analyses**. Prepared for US EPA and SERA, by Skumatz Economic Research Associates, Washington D.C., 2006. Disponível em: <http://www.epa.gov/wastes/conservation/tools/payt/pdf/sera06.pdf> Acesso: Maio 2010.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. Editora Atlas. 2ª Edição. São Paulo, 2002.
- SOUZA, J. C. Reciclagem e Sustentabilidade: A Importância da Logística. In: XI Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha, 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Centro de Análise de Sistemas Navais da Marinha, 2008. p. 140-156.
- SRIVASTAVA, S. K. Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review, **International Journal of Management Reviews**, vol. 9, n. 1, p. 53 – 80, 2007.
- STOCK, J.; SPEH, T.; SHEAR, H. Managing Product Returns for competitive advantage. **MITsloan Management Review**. vol. 48, n.1, 2006.
- SU, J-P.; CHIUEH, P-T.; HUNG, M-L.; MA, H-W. Analyzing policy impact potential for municipal solid waste management decision-making: A case study of Taiwan. **Resources, Conservation and Recycling**, vol. 51, p. 418–434, 2007.
- TAVARES, G.; ZSIGRAIOVA, Z.; SEMIAO, V.; CARVALHO, M. G. Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling. **Waste Management**, vol. 29, p.1176–1185, 2009.
- THILL, J. C. Geographic information systems for transportation in perspective. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**. vol. 8, n. 1-6, p. 3-12, 2000.
- TIBBEN-LEMBKE, R. S. Life after death: reverse logistics and the product life cycle. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, vol. 32, n. 3, p.223-244, 2002.

TIBBEN-LEMBKE, R. S.; ROGERS, D. S. Differences between forward and reverse logistics in a retail environment. **Supply Chain Management: an International Journal**, vol. 7, n.5, p. 271-282, 2002.

TROSCHINETZ, A. M.; MIHELICIC, J. R. Sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries. **Waste Management**, vol. 29, n. 2 ,p.915-923, 2009.

VIJAY, R.; GAUTAM, A.; KALAMDHAD, A.; GUPTA, A.; DEVOTTA, S. GIS-based locational analysis of collection bins in municipal solid waste management systems. **Journal of environmental Engineering & Science**, vol. 7, p. 39- 44, 2008.

VONDEROHE, A. P.; TRAVIS, L.; SMITH, R. L.; TSAI, V. **Adaptation of geographic information system for transportation**. National Cooperative Highway Research Program Report 359, Transportation Research Board, Washington DC, 1993.

XANTHOPOULOS, A.; IAKOVOU, E. On the optimal design of the disassembly and recovery processes. **Waste Management**, vol. 29, n.5, p. 1702-1711, 2009.

YANG, H.; INNES, R. Economic incentives and residential waste management in Taiwan: an empirical investigation. **Environmental & Resource Economics**, vol. 37, p. 489-519, 2007.

YANG, K.; ZHOU, XN.; YAN, WA.; HANG, DR.; STEINMANN, P. Landfills in Jiangsu province, China, and potential threats for public health: Leachate appraisal and spatial analysis using geographic information system and remote sensing. **Waste Management**, vol. 28, n.12, p. 2750-2757, 2008.

ZAMORANO, M.; MOLERO, E.; HURTADO, A.; GRINDLAY, A.; RAMOS, A. Evaluation of a municipal landfill site in Southern Spain with GIS-aided methodology. **Journal of Hazardous Materials**, vol. 160, n. 2-3, p. 473-481, 2008.

ZAMORANO, M.; MOLERO, E.; GRINDLAY, A.; RODRÍGUEZ, M. L.; HURTADO, A.; CALVO, F. J. A planning scenario for the application of geographical information systems in municipal waste collection: A case of Churriana de la Vega (Granada, Spain). **Resources, Conservation and Recycling**, vol. 54, p. 123-133, 2009.

ZHANG, D.; KEAT, T. S.; GERSBERG, R. M. A comparison of municipal solid waste management in Berlin and Singapore. **Waste Management**, vol. 30, n. 5, 2010, p. 921-933, 2010.

ZIVIANI, N. **Projeto de Algoritmos: com Implementações em Pascal e C**. 2. ed. São Paulo: Thomson Learning, 2004.