

GERENCIAMENTO DA COLETA DE RESÍDUOS
SÓLIDOS URBANOS: ESTRUTURAÇÃO E
APLICAÇÃO DE MODELO NÃO-LINEAR
DE PROGRAMAÇÃO POR METAS

VALERIANA CUNHA

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências, Área de Concentração: Economia Aplicada.

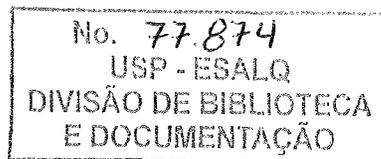
PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Setembro - 2001

**GERENCIAMENTO DA COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS: ESTRUTURAÇÃO E APLICAÇÃO DE MODELO NÃO-
LINEAR DE PROGRAMAÇÃO POR METAS**

VALERIANA CUNHA
Administradora de Empresas

Orientador: Prof. Dr. **JOSÉ VICENTE CAIXETA FILHO**

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade
de São Paulo, para obtenção do título de
Mestre em Ciências, Área de Concentração:
Economia Aplicada.



PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Setembro - 2001

USP - ESALQ DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
Data: 10/18/01 Loc: d.-o autor Valor: 40,00 Q: -
CDD 628.44 Vol. 1 Am. C972g Ex. 2

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Cunha, Valeriana

Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos : estruturação e aplicação de modelo não-linear de programação por metas / Valeriana Cunha. -- Piracicaba, 2001.

223 p. : il.

Dissertação (mestrado) -- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2001.

Bibliografia.

1. Coleta 2. Economia aplicada 3. Programação não-linear 4. Resíduo sólido I. Título

CDD 628.44

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

Data do depósito junto à CPQ/ESALQ

21 / 09 / 2001

*Aos meus pais Weiss e Ana,
com todo o meu carinho e gratidão*

Agradecimentos

Às **forças superiores** que satisfazem minha necessidade espiritual.

Ao meu orientador, **Prof. Dr. José Vicente Caixeta Filho**, por toda a sua competência, dedicação e empenho na orientação do trabalho; pela confiança em mim depositada; pela paciência, sabedoria e tranquilidade que sempre me transmite.

Aos professores **Edson Martins de Aguiar, Luiz Carlos Estraviz Rodriguez e Zilda Paes de Barros Mattos**, por todas as contribuições ao longo do desenvolvimento do trabalho e por comporem as bancas de avaliação.

Aos meus pais, **Weiss e Ana**, por toda dedicação e afeto; pelo incomensurável apoio e por participarem das alegrias e das tristezas, das reclamações e das comemorações, sempre com carinho e paciência.

À minha avó **Totonha** e às **minhas tias**, pelo amor à distância.

À minha prima e grande amiga, **Raquel**, que me acolheu na cidade com muito amor e sempre deu o “apoio logístico” de que eu precisava.

À **Valéria, Rosane, Gugu e Fernando**, pela torcida constante.

Ao **Tiago**, pela disponibilidade em ajudar-me.

Ao **Nick**, pela paz que me transmite.

Às grandes amigas **Cíntia, Cristiane e Patrícia**, com quem dividi, além dos momentos de concentração e estudo, a minha vida.

Aos **colegas do curso**, por todos os momentos que tivemos oportunidade de compartilhar.

Aos **professores do Departamento de Economia, Administração e Sociologia da USP/ESALQ**.

Aos funcionários do Departamento de Economia, Administração e Sociologia da USP/ESALQ - **Álvaro, Cristiane, Fernando, Helena, Elenice, Luciane, Márcia, Maria Helena, Pedro e Valdeci** - pelas ajudas indispensáveis, cada um em sua área, mas todas essenciais.

À **Maielli** que, além de toda a contribuição profissional, é uma pessoa maravilhosa, que sempre tornou os momentos difíceis mais amenos.

À **Ligiana**, pela grande contribuição prestada na finalização do trabalho.

À **Universidade de São Paulo - Campus Piracicaba** - pela oportunidade de realização do Curso de Mestrado em Economia Aplicada na instituição.

Ao **CNPq**, pelo auxílio financeiro recebido.

À **Enob Ambiental**, especialmente ao **Aurélio**, pela atenção e presteza no fornecimento dos dados.

À **Secretaria de Desenvolvimento do Meio Ambiente** da Prefeitura Municipal de Piracicaba e ao **Centro de Reabilitação de Piracicaba - SP**, especialmente ao **Jorge**, por fornecerem os dados solicitados.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xiii
SUMMARY	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Importância do gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos	4
2.2 Caracterização dos resíduos sólidos	8
2.3 Atividades gerenciais ligadas aos resíduos sólidos urbanos	11
2.3.1 Geração	11
2.3.2 Acondicionamento	14
2.3.3 Coleta	14
2.3.4 Estação de Transferência ou de Transbordo	21
2.3.5 Processamento e recuperação	21
2.3.6 Disposição Final	26
2.4 Custos relacionados ao gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos	31
3 MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1 Modelos de otimização para o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos	33
3.2 Programação por Metas	40
3.2.1 Ilustração de programação por metas	43

3.3	O modelo proposto	47
3.3.1	Especificação das metas	47
3.4	Aplicação do modelo	60
3.4.1	Caracterização do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no município de Piracicaba - SP	60
3.4.2	Especificação dos dados que compõem o modelo	67
3.4.2.1	Primeira meta	67
3.4.2.2	Segunda meta	76
3.4.2.3	Terceira meta	79
3.4.2.4	Quarta meta	81
3.4.2.5	Quinta e sexta metas	81
3.4.2.6	Sétima meta	83
3.4.2.7	Oitava e nona metas	86
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	91
4.1	Os modelos testados	91
4.2	Resultados obtidos	93
4.2.1	Modelo sem prioridades	94
4.2.2	Modelos com prioridades	100
4.2.2.1	Primeira ordenação das prioridades	100
4.2.2.2	Segunda ordenação das prioridades	104
4.2.2.3	Terceira ordenação das prioridades	108
4.3	Comparação dos valores obtidos com a aplicação dos modelos de programação por metas com os valores praticados em Piracicaba - SP em outubro de 2000	112
4.3.1	Quantidades coletadas convencionalmente	113
4.3.2	Quilometragem percorrida	115
4.3.3	Densidade de coleta	117
4.3.4	Orçamento da coleta seletiva e convencional	117
4.3.5	Coleta seletiva	120
4.3.6	Veículos	121

4.3.7	Produtividade	121
4.4	Considerações finais.....	123
5	CONCLUSÕES	125
	ANEXOS	129
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	217

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Caracterização dos resíduos sólidos gerados nos domicílios do Brasil	9
2 Composição dos resíduos sólidos urbanos em algumas cidades Brasileiras, 2000	10
3 O processo da coleta de resíduos sólidos e suas inter-relações	12
4 Caminhão compactador para lixo domiciliar	17
5 Caminhão compactador com dispositivo para basculamento de recipiente estacionário	17
6 Trator utilizado para a coleta de lixo	17
7 Caminhão de caçamba aberta basculante	17
8 Coletor tipo prefeitura ou baú	18
9 Veículo poliguindaste para transporte de caçamba intercambiável	18
10 Veículo com guindaste para coleta em postos de entrega voluntária (coleta seletiva) ou para coleta de podas	18
11 Caminhão multi-caçamba utilizado na coleta seletiva de recicláveis	19
12 Comparação dos custos envolvidos no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos entre algumas cidades	32
13 Fluxo de gerenciamento dos resíduos sólidos	38
14 Mapa da cidade de Piracicaba	62
15 Variações relacionadas às quantidades coletadas convencionalmente para a formulação sem prioridades e com densidade média de 195,15 kg/km, em Piracicaba - SP, 2000	95
16 Variações relacionadas à quilometragem percorrida na coleta convencional para a formulação sem prioridades e com densidade média de 195,15 kg/km, em Piracicaba - SP, 2000	96
17 Variações relacionadas ao Orçamento da Coleta Convencional para a formulação sem prioridades e com densidade média de 195,15 kg/km, em Piracicaba - SP, 2000	97
18 Variações relacionadas ao Orçamento da Coleta Seletiva para a formulação sem prioridades e com densidade média de 195,15 kg/km, em Piracicaba - SP, 2000	98
19 Variações relacionadas à Densidade da Coleta Convencional para a formulação sem prioridades e com densidade média de 195,15 kg/km, em Piracicaba - SP, 2000	98

20	Variações relacionadas à Produtividade da Coleta Convencional para a formulação sem prioridades e com densidade média de 195,15 kg/km, em Piracicaba - SP, 2000	99
21	Variações relacionadas à quilometragem percorrida na Coleta Convencional considerando-se a 1ª ordenação de prioridades, em Piracicaba - SP, 2000	101
22	Variações relacionadas ao orçamento da Coleta Convencional considerando-se a 1ª ordenação de prioridades, em Piracicaba - SP, 2000 ...	102
23	Variações relacionadas ao orçamento da coleta seletiva considerando-se a 1ª ordenação de prioridades, em Piracicaba - SP, 2000	102
24	Variações relacionadas à densidade da coleta convencional considerando-se a 1ª ordenação de prioridades, em Piracicaba - SP, 2000 ...	103
25	Variações relacionadas à produtividade da coleta convencional considerando-se a 1ª ordenação de prioridades, em Piracicaba - SP, 2000 ...	104
26	Variações relacionadas à quilometragem percorrida na coleta convencional considerando-se a 2ª ordenação de prioridades, em Piracicaba - SP, 2000	105
27	Variações relacionadas ao orçamento da coleta convencional considerando-se a 2ª ordenação de prioridades, em Piracicaba - SP, 2000 ...	106
28	Variações relacionadas ao orçamento da coleta seletiva considerando-se a 2ª ordenação de prioridades, em Piracicaba - SP, 2000 ...	107
29	Variações relacionadas à produtividade da coleta convencional considerando-se a 2ª ordenação de prioridades, em Piracicaba - SP, 2000 ...	108
30	Variações relacionadas à quantidade coletada convencionalmente considerando-se a 3ª ordenação de prioridades, em Piracicaba - SP, 2000 ...	109
31	Variações relacionadas à quilometragem percorrida na coleta convencional considerando-se a 3ª ordenação de prioridades, em Piracicaba - SP, 2000	110
32	Variações relacionadas ao orçamento da coleta convencional considerando-se a 3ª ordenação de prioridades, em Piracicaba - SP, 2000 ...	111
33	Variações relacionadas ao orçamento da coleta seletiva considerando-se a 3ª ordenação de prioridades, em Piracicaba - SP, 2000 ...	111
34	Variações relacionadas à densidade da coleta convencional considerando-se a 3ª ordenação de prioridades, em Piracicaba - SP, 2000 ...	112
35	Cálculo do potencial de minimização dos resíduos sólidos urbanos para uma situação hipotética	132
36	Ganhos financeiros advindos da minimização dos resíduos sólidos urbanos para uma situação hipotética	133

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Produção de lixo em algumas cidades do mundo	5
2 Tempo de decomposição de alguns materiais	7
3 Dados sobre geração de resíduos sólidos urbanos em alguns municípios brasileiros, 2000	13
4 Frequência de coleta e porcentagem da população atendida em alguns municípios brasileiros, 2000	15
5 Veículos utilizados na coleta/transporte do lixo e percurso total de algumas cidades brasileiras, 2000	20
6 Vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de estações de transferências	22
7 Métodos utilizados para processamento e recuperação do lixo em alguns municípios brasileiros, 2000	27
8 Os aterros sanitários em alguns municípios brasileiros, 2000	31
9 Dados do problema	44
10 Caracterização dos setores de coleta em Piracicaba - SP, 2000	63
11 Quantidades coletadas de lixo observadas em Piracicaba - SP, por setores, referentes aos meses de agosto e setembro de 2000	64
12 Dados observados de quantidades coletadas seletivamente em Piracicaba - SP (em kg), por produto reciclável, entre 1999 e 2000	65
13 Custos de depreciação de bens de capital usados na atividade de coleta seletiva em Piracicaba – SP, outubro de 2000	66
14 Custos da mão-de-obra operacional e não operacional na atividade de coleta seletiva em Piracicaba – SP, em outubro de 2000	66
15 Custos de coleta de lixo, por equipe, em Piracicaba - SP, 2000	67
16 Custos mensais de disposição final no aterro sanitário em Piracicaba - SP, 2000	68
17 Variação da Quantidade coletada de lixo em Piracicaba - SP, em relação à média, para todos os meses do ano	69
18 Valores médios estimados de geração de lixo por setor, em Piracicaba - SP	71
19 Valores estimados de geração de lixo, em Piracicaba - SP, em agosto de 2000	72

20	Valores de geração de lixo (kg) observados, calculados e variação percentual para o mês de agosto de 2000, em Piracicaba - SP	73
21	Geração média de resíduos por habitantes por dia	74
22	Valores numéricos da primeira meta do modelo - quantidades mensais a serem coletadas convencionalmente, por setor, em Piracicaba - SP	75
23	Perímetro dos setores de coleta e distâncias médias dos setores ao aterro sanitário, em Piracicaba - SP, 2000	76
24	Valores numéricos da segunda meta do modelo - quilometragem mensal a ser percorrida na coleta convencional, por setor, em Piracicaba - SP	77
25	Valores pagos pela Prefeitura Municipal de Piracicaba para cada tipo de serviço, 2000	82
26	Valores numéricos da quinta e sexta metas – orçamento mensal, por setor, para a coleta convencional e seletiva em Piracicaba - SP, 2000	82
27	Quantidades a serem coletadas seletivamente, por setor, em Piracicaba - SP, 2000	84
28	Participações percentuais observadas por produto reciclável, coletado seletivamente em Piracicaba - SP, entre 1999 e 2000	85
29	Composição dos resíduos sólidos recicláveis, em Piracicaba - SP	86
30	Valores numéricos da sétima meta do modelo - quantidades mensais a serem coletadas seletivamente, por setor e por produto reciclável, em Piracicaba - SP, 2000	87
31	Comparação das quantidades coletadas convencionalmente em Piracicaba - SP, em outubro de 2000, com os valores propostos nas 4 simulações distintas	114
32	Comparação das quilometragens percorridas na coleta convencional em Piracicaba - SP, em outubro de 2000, com os valores propostos nas 4 simulações distintas	116
33	Comparação das densidades de coleta na coleta convencional em Piracicaba - SP, em outubro de 2000, com os valores propostos nas 4 simulações distintas	118
34	Comparação do orçamento da coleta seletiva e convencional em Piracicaba - SP, em outubro de 2000, com os valores propostos nas 4 simulações distintas	119
35	Comparação das quantidades coletadas seletivamente em Piracicaba - SP, em outubro de 2000, com os valores propostos nas 4 simulações distintas	120
36	Comparação do número de veículos utilizados na coleta convencional em Piracicaba - SP, em outubro de 2000, com os valores propostos nas 4 simulações distintas	121
37	Comparação da produtividade dos coletores na coleta convencional em Piracicaba - SP, em outubro de 2000, com os valores propostos nas 4 simulações distintas	122

**GERENCIAMENTO DA COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS:
ESTRUTURAÇÃO E APLICAÇÃO DE MODELO NÃO-LINEAR DE
PROGRAMAÇÃO POR METAS**

Autora: VALERIANA CUNHA

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ VICENTE CAIXETA FILHO

RESUMO

Neste trabalho é desenvolvida e aplicada metodologia para auxiliar a tomada de decisões, nos níveis tático e operacional, do gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos. Tal metodologia, baseada em modelo matemático de otimização de Programação Não-Linear por Metas, foi aplicada à cidade de Piracicaba, SP. Pôde-se constatar alguns problemas no gerenciamento tático e operacional na coleta de resíduos sólidos urbanos em Piracicaba, tais como falta de coleta convencional de todos os resíduos gerados em alguns setores, não otimização da frota de veículos existente, produtividades acima das estabelecidas como ótimas na maioria dos setores, densidades abaixo ou acima da média, entre outros. Além disso, verificou-se a necessidade de reestruturação dos setores de coleta para que o gerenciamento se torne mais eficaz. Através da aplicação do modelo, pôde-se concluir que tal ferramenta é útil na tomada de decisão nos níveis tático e operacional, podendo, inclusive, auxiliar na redefinição de estratégias a serem seguidas pelos tomadores de decisão.

**MANAGEMENT OF SOLID URBAN WASTE COLLECTION:
STRUCTURING AND APPLICATION OF A NON-LINEAR GOAL
PROGRAMMING MODEL**

Author: VALERIANA CUNHA

Adviser: Prof. Dr. JOSÉ VICENTE CAIXETA FILHO

SUMMARY

This work presents a methodology that has been developed and applied to help the decision-making process, at both tactical and operational levels, in solid urban waste management. This methodology, based on an optimization mathematical model of Non-Linear Goal Programming, has been applied to Piracicaba, a city in the state of São Paulo. Some problems in tactical and operational management of solid urban waste collection have been found there, such as lack of standard collection of all the waste generated in some areas, non-optimization of fleet of vehicles available, productivity above that established as optimal in most areas, densities below or above average, among others. Furthermore, the need of restructuring collection areas has been noticed so that management can be more effective. Upon applying the model, it was concluded that such tool is useful in tactical and operational decision-making, as well as in helping redefining strategies to be followed by decision-makers.

1 INTRODUÇÃO

Procurando a palavra **lixo** no dicionário, encontram-se os seguintes significados: “1. Aquilo que se varre da casa, do jardim, da rua, e se joga fora; entulho. 2. Tudo o que não presta e se joga fora. 3. Sujidade, sujeira, imundície. 4. Coisa ou coisas inúteis, velhas, sem valor. 5. Ralé” (Ferreira, 1986).

O próprio significado da palavra transmite a impressão de que lixo é algo sem valor, sem importância e que deve ser jogado fora. Ainda nos dias de hoje, muitas vezes, o lixo é tratado com a mesma indiferença da época das cavernas. Nessa época, o lixo não era verdadeiramente um problema, seja por sua menor quantidade gerada, seja por uma maior facilidade da natureza em reciclá-lo.

Entretanto, em tempos mais recentes, a quantidade de lixo gerada no mundo tem sido grande e o seu mau gerenciamento, além de provocar gastos financeiros significativos, pode provocar graves danos ao meio ambiente e comprometer a saúde e o bem-estar da população.

Existem diversos trabalhos na literatura, tais como os de Canassa (1992), Aguiar (1993), Kulcar (1996), Muttiah *et al.* (1996), que abordam a questão do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos objetivando a sua otimização. Entretanto, cada um destes autores enfoca um único aspecto do gerenciamento, tais como a minimização do percurso de coleta, o dimensionamento da frota e equipes de trabalho ou decisões sobre instalação ou não de uma estação de transferência e locais para disposição final do lixo. Algumas abordagens, como a de Sudhir *et al.* (1996), enfocam, em um mesmo modelo, vários aspectos do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, tratando cada aspecto como um objetivo a ser atingido.

Neste estudo, será avaliada a seguinte hipótese: a utilização de modelos matemáticos de otimização que consideram, concomitantemente, diversos objetivos, poderá auxiliar no aprimoramento da gestão tática e operacional da coleta de resíduos sólidos urbanos.

Para tal, pretende-se trabalhar com a abordagem de múltiplos objetivos, tratando o gerenciamento da coleta de lixo de maneira integrada. Assim sendo, a proposta de pesquisa deste trabalho diz respeito à investigação sobre o gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos em municípios do Brasil, englobando todas as fases do sistema, tendo em vista a proposição de um modelo matemático de Programação por Metas (*Goal Programming*). Esse modelo deverá ser aplicado no município de Piracicaba-SP¹, considerando tanto aspectos relacionados a custos como também ao meio ambiente, saúde e bem-estar da população.

Portanto, o objetivo principal desta pesquisa é o desenvolvimento de um modelo matemático de otimização do gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos. Para a consecução desse objetivo, faz-se necessário:

- conhecer os modelos e respectivos algoritmos existentes para solucionar os problemas do gerenciamento da coleta dos resíduos sólidos urbanos;
- definir variáveis e índices explanatórios nos sistemas brasileiros de gerenciamento da coleta de resíduos sólidos;
- propor um modelo tático/operacional de gestão da coleta dos resíduos sólidos urbanos;
- definir variáveis relevantes para a composição do modelo na realidade a ser estudada;
- aplicar o modelo desenvolvido na pesquisa a uma situação real;
- analisar a viabilidade do modelo e suas limitações;
- propor estratégias alternativas que visem à otimização do gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos.

¹ Piracicaba, cidade do interior de São Paulo, tem uma população de 328.312 habitantes, segundo o Censo do IBGE (2000). Maiores informações sobre o sistema de gerenciamento da coleta de resíduos sólidos na cidade serão dadas no capítulo 3, seções 3.3 e 3.4.

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos. Este primeiro capítulo introduz o assunto e descreve os objetivos da pesquisa. O segundo capítulo - **Revisão de Literatura** - descreve a importância do assunto e o processo em estudo, desde a geração do lixo, acondicionamento para coleta, a coleta em si (englobando transferência e transporte, processamento e recuperação) até a disposição final dos resíduos. Nesse capítulo também são apresentados os resultados de um levantamento realizado em cinco municípios brasileiros, caracterizando cada uma das etapas do gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos nesses municípios. O terceiro capítulo - **Material e Métodos** - apresenta, em sua primeira seção, alguns métodos e modelos para otimização do gerenciamento da coleta de resíduos sólidos em diversos contextos nacionais e internacionais. Nas seções seguintes é descrita a metodologia que será utilizada para o desenvolvimento do modelo, o modelo em si e a sua aplicação. No quarto capítulo - **Resultados e Discussão** - a aplicação e os resultados são discutidos enquanto no quinto capítulo - **Conclusões** - são ressaltadas as contribuições e limitações da pesquisa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, demonstra-se a importância do gerenciamento da coleta de resíduos sólidos com base nos seguintes pressupostos: a grande quantidade de lixo existente no mundo, os gastos financeiros relativos aos serviços de limpeza, os impactos ao meio ambiente e à saúde da população que o lixo pode causar. Ainda neste capítulo, procura-se descrever o ciclo que envolve os resíduos sólidos, desde a sua geração até a sua disposição final. Para ilustrar as principais características desse ciclo, serão apresentados os resultados de uma pesquisa realizada em Bauru (SP)², Belo Horizonte (MG)³, Caxias do Sul (RS)⁴, Juiz de Fora (MG)⁵ e Jundiaí (SP)⁶.

2.1 Importância do gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos

Nos últimos tempos, o interesse em se estudar resíduos sólidos tem se mostrado crescente. O assunto tem se tornado tópico de debates em diversas áreas do conhecimento e sua importância crescente se dá graças a três fatores principais:

- a grande quantidade de lixo gerada;

² Bauru tem uma população de 315.835 pessoas, das quais 310.208 residem na área urbana. Possui uma extensão territorial de 673 km² (IBGE, 2000).

³ Belo Horizonte é uma cidade com 2.229.697 habitantes, todos residentes na área urbana do município. Possui uma área territorial de 331 km² (IBGE, 2000).

⁴ Caxias do Sul tem uma população de 360.207 habitantes, sendo 333.201 residentes na área urbana. A extensão territorial da cidade é de 1.586 km² (IBGE, 2000).

⁵ Juiz de Fora possui 447.141 habitantes, dos quais 443.359 residem na área urbana. Tem uma extensão territorial de 1.439 km² (IBGE, 2000).

⁶ Jundiaí tem uma população de 322.798 habitantes, dos quais 299.669 residem na área urbana. Sua área territorial é de 432 km² (IBGE, 2000).

- os gastos financeiros relacionados ao gerenciamento de resíduos sólidos urbanos;
- os impactos ao meio ambiente e à saúde da população.

Em relação à quantidade de lixo gerada, de acordo com dados de Brown (1993), a produção de lixo pode variar de aproximadamente 0,46 a 2,27 kg/hab/dia, dependendo da cidade e do país de referência, dados que podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1. Produção de lixo em algumas cidades do mundo.

Cidade	País	Produção de lixo (kg/hab/dia)
Chicago	Estados Unidos	2,27
Nova York	Estados Unidos	1,80
Tóquio	Japão	1,38
Singapura	Singapura	0,87
Hong Kong	China	0,85
Hamburgo	Alemanha	0,85
Roma	Itália	0,69
Lahore	Paquistão	0,60
Tunis	Tunísia	0,56
Bandung	Indonésia	0,55
Medelin	Colombia	0,54
Calcutá	Índia	0,51
Karachi	Paquistão	0,50
Manila	Filipinas	0,50
Kano	Nigéria	0,46

Fonte: Brown (1993)

Segundo Caixeta Filho (1999), o índice *per capita* brasileiro está situado em torno de 0,50 a 1,00 kg/hab/dia. Segundo Prandini *et al.* (1995), são geradas a cada dia no país não menos que 242 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos, perfazendo 88,3

milhões de toneladas anuais, das quais 37% correspondem a detritos gerados nos domicílios. Por outro lado, o direcionamento da indústria mundial, produzindo cada vez mais bens e utilitários descartáveis, leva a um volume crescente de resíduos gerados. Corson (1996) estima que a geração de resíduos sólidos em todo o mundo cresce em torno de 20% ao ano.

De acordo com Brasil (2000), em relação aos aspectos financeiros envolvidos no gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos, no Brasil, em média, os serviços de limpeza demandam de 7 a 15% do orçamento dos municípios. Segundo Canassa (1992), a coleta é o processo que engloba, geralmente, a maior parte dos recursos alocados aos serviços de limpeza pública. Segundo Cunha *et al.* (1995), cerca de 50% do orçamento municipal destinado aos serviços de limpeza são utilizados na coleta e transporte de resíduos sólidos. Entretanto, grande parte desses recursos é desperdiçada em função da ineficiência dos sistemas adotados, principalmente no que tange à elaboração de rotas de coleta, visto que a maioria das empresas coletora apenas utiliza mapas e experiências dos motoristas para “tentar” otimizar o processo.

Estudos visando à otimização dos serviços de coleta de lixo apresentam resultados animadores. Canassa (1992) conseguiu reduzir um percurso de 54.182 metros para 47.131 metros (13%) em Florianópolis (Santa Catarina - Brasil). Eisenstein e Iyer (1997) definiram conjuntos de rotas diferentes das que estavam sendo utilizadas para a coleta em Chicago (Illinois - Estados Unidos), conseguindo diminuir entre 12 e 16% a capacidade dos caminhões utilizados, o que significa uma redução potencial de US\$ 9 milhões nos custos envolvidos. Vários outros autores, tais como Kulcar (1996), MacDonald (1996) e Muttiah *et al.* (1996), desenvolveram estudos focados na otimização do gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos, cujas abordagens e resultados são discutidos no capítulo 3.

Outro problema importante relacionado ao gerenciamento da coleta do lixo diz respeito à destinação final dos resíduos, o que pode levar à contaminação do ar, da água, do solo e à proliferação de vetores nocivos à saúde humana. A biosfera tem a capacidade de, ao longo do tempo, transformar o lixo em produtos inofensivos ou em nutrientes que podem ser reutilizados. Entretanto, essa capacidade natural de assimilação pode ser

facilmente excedida se o lixo, principalmente o advindo de atividades industriais, não for controlado. Além disso, existem alguns materiais que o ambiente tem pouca ou, em alguns casos, nenhuma capacidade de assimilação. Nessas circunstâncias haverá, certamente, aumento da poluição e perda da qualidade ambiental. Na Tabela 2 podem ser observados os tempos aproximados de decomposição de alguns produtos. O dano ecológico não pode ser quantificado de maneira exata, mas certamente afeta a população.

Tabela 2. Tempo de decomposição de alguns materiais.

Produto	Tempo de decomposição
Papel	2 a 12 semanas
Goma de mascar	5 anos
Lata de conserva	100 anos
Plástico	450 anos
Lata de alumínio	500 a 1000 anos
Pneus	Tempo indeterminado
Restos orgânicos	2 a 12 meses
Latas de aço	10 anos
Tetrapak	Mais de 100 anos
Vidro	Mais de 10.000 anos
Plástico duro	Mais de 100 anos
Madeira	Mais de 6 meses
Cigarro	3 meses a vários anos
Tecidos de algodão	1 a 5 meses

Fonte: <http://www.colegiocci.g12.br/gaia/lixo.htm> e Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

Obs.: O tempo de decomposição pode variar conforme as condições a que são expostos os materiais.

Brasil (2000) aponta os efeitos maléficos que o lixo pode provocar por meio de três agentes:

- Agentes físicos - é o caso do lixo acumulado às margens de curso d'água ou de canais de drenagem e em encostas, provocando o seu assoreamento e deslizamentos;
- Agentes químicos - a poluição atmosférica causada pela queima de lixo a céu aberto, a poluição do solo e a contaminação de lençóis d'água por substâncias químicas presentes na massa de resíduos;
- Agentes biológicos - o lixo mal acondicionado ou depositado em local inadequado constitui um foco de proliferação de vetores transmissores de doenças.

2.2 Caracterização dos resíduos sólidos

De maneira genérica, segundo Consoni *et al.* (2000a), o lixo sólido urbano abrange os resíduos domiciliares, os originados em estabelecimentos comerciais, industriais e de prestação de serviços, os decorrentes dos serviços de limpeza pública urbana, os oriundos dos estabelecimentos de saúde (sépticos e assépticos), os entulhos da construção civil e os gerados em terminais rodoviários, ferroviários, portos e aeroportos.

Entretanto, no Brasil, a denominação “resíduos sólidos urbanos”, segundo Roth *et al.* (1999), caracteriza o lixo cuja coleta, transporte e destinação final é, por definição legal, de responsabilidade das Prefeituras Municipais, o que inclui o lixo domiciliar, o comercial e o público. Os resíduos assépticos dos estabelecimentos de saúde e os decorrentes dos terminais rodoviários e ferroviários, bem como os entulhos, podem também compor o conjunto de detritos atendidos pela coleta oficial dos municípios, dependendo do entendimento que cada comunidade adota para a questão. Os demais (industriais, sépticos e produzidos em portos e aeroportos) requerem cuidados especiais quanto ao seu acondicionamento, coleta, transporte e destino final, devido à sua periculosidade à saúde humana e ao meio ambiente. Desta maneira, o descarte e o tratamento destes materiais são de responsabilidade das fontes geradoras e não do poder público municipal.

Segundo D'Almeida *et al.* (1995), no Brasil o lixo domiciliar é principalmente constituído de matéria orgânica, conforme mostra a Figura 1. Já segundo Roth *et al.* (1999), em termos anuais, cada cidadão brasileiro descarta em torno de 45 kg de plásticos, aproximadamente 90 latas de bebidas e 70 latas de alimentos diversos. Além disso, há que se destacar o descarte de pilhas, lâmpadas fluorescentes, frascos de aerossóis, embalagens de produtos de limpeza doméstica, material eletrônico, entre outros.

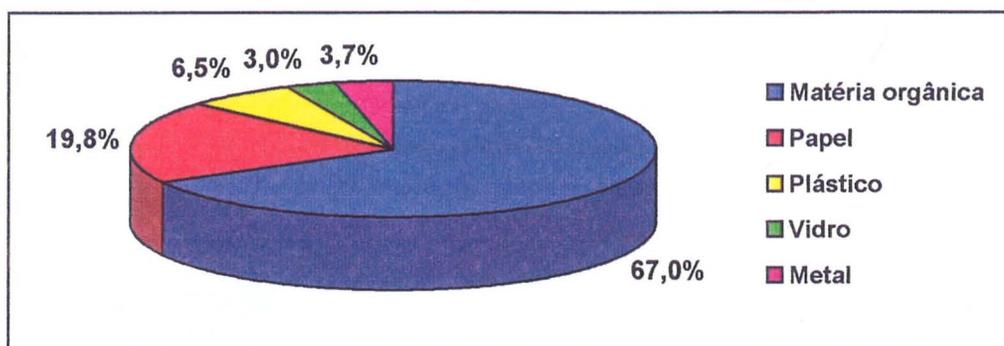


Figura 1 - Caracterização dos resíduos sólidos gerados nos domicílios do Brasil.
Fonte: D'Almeida *et al.* (1995)

Em levantamento realizado em algumas cidades brasileiras⁷, pôde-se verificar a composição dos resíduos sólidos urbanos coletados. Um sumário com os resultados

⁷ Esse levantamento foi realizado pela autora, nos meses de julho e agosto de 2000, por meio de questionário (vide Anexo A) enviado via e-mail às prefeituras de Bauru (SP), Belo Horizonte (MG), Caxias do Sul (RS), Jundiaí (SP) e Juiz de Fora (MG). Essas cidades foram escolhidas por serem de médio porte e se situarem na faixa de 300.000 a 500.000 habitantes. Apesar de Belo Horizonte possuir mais de 2.000.000 habitantes, considerou-se interessante a escolha desse município, pois, segundo Minas Gerais (2000), a gestão de resíduos sólidos urbanos dessa cidade foi premiada internacionalmente através de um trabalho técnico selecionado pelo Conselho Internacional para Iniciativas Ambientais Locais em Toronto, no Canadá, na categoria excelência em Gerenciamento de Resíduos Sólidos, premiação disputada com mais de 200 outras cidades de todo o mundo.

é apresentado na Figura 2. Percebe-se que em todos os municípios pesquisados, o percentual de matéria orgânica corresponde à maior parte do lixo coletado, condizendo com a realidade brasileira descrita por D'Almeida *et al.* (1995) na Figura 1, que aponta o vidro como o material de menor percentual dos resíduos sólidos gerados nos domicílios brasileiros. Comparando esse resultado com os dados da Figura 2, percebe-se que em todos os municípios pesquisados, exceto Caxias do Sul, o vidro também representa o menor percentual dos resíduos coletados.

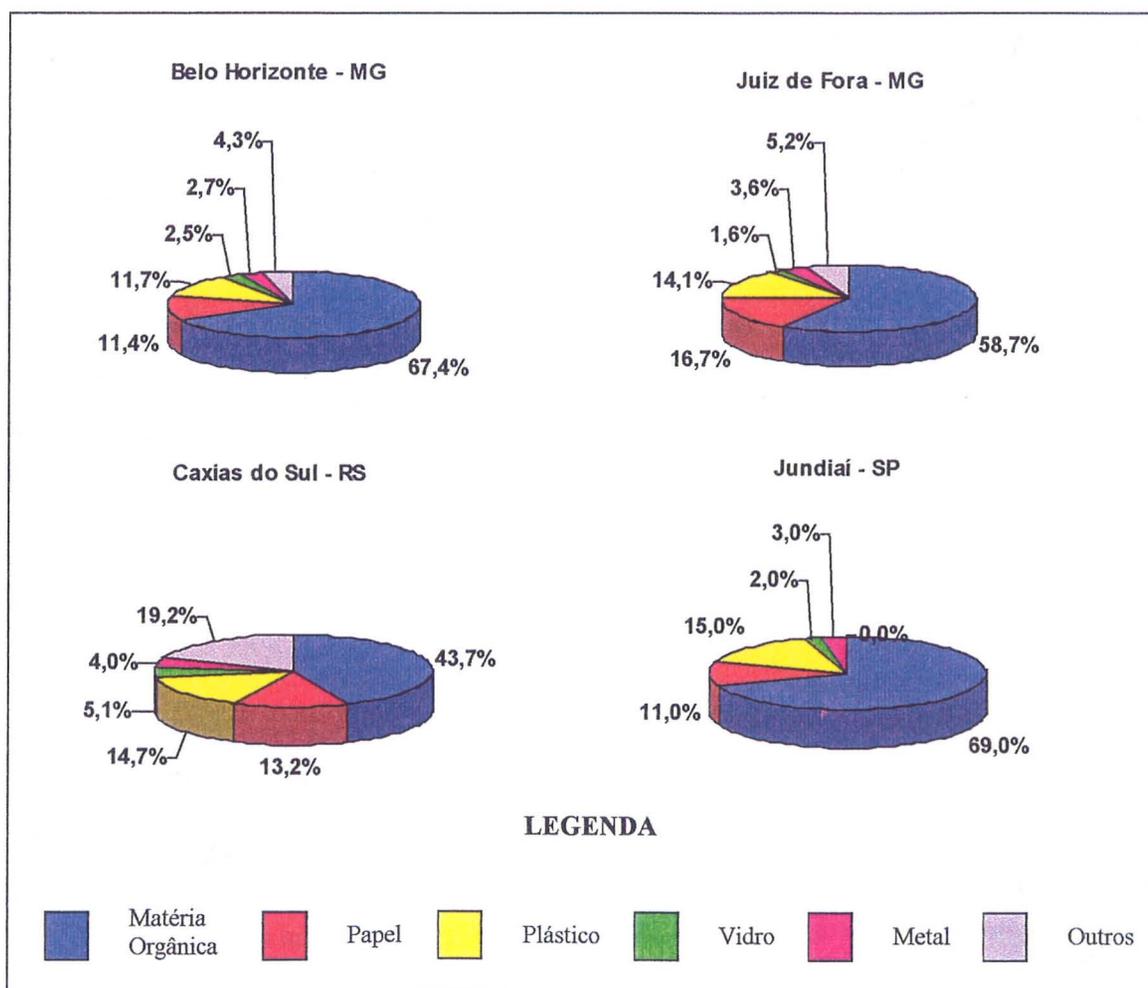


Figura 2 - Composição dos resíduos sólidos em algumas cidades brasileiras, 2000.
Fonte: Prefeituras dos municípios pesquisados.

De acordo com Peral (1989), a composição dos resíduos sólidos urbanos depende de vários fatores, dentre os quais pode-se citar:

- características da população: zonas rurais ou urbanas, áreas residenciais ou de serviço;
- clima e estação: os resíduos coletados no verão apresentam um maior conteúdo de restos de frutas e verduras;
- modo e nível de vida da população: o consumo de produtos alimentícios semi-preparados faz aumentar o conteúdo de embalagens (potes de conserva, vidros, plásticos, papéis e papelão) mas, por outro lado, tem-se uma diminuição dos restos de verduras, carnes etc.

2.3 Atividades gerenciais ligadas aos Resíduos Sólidos Urbanos

Tchobanoglous⁸, citado por Canassa (1992), afirma que as atividades gerenciais ligadas aos resíduos sólidos podem ser agrupadas em seis elementos funcionais, conforme ilustra a Figura 3. Cada uma dessas fases será analisada nas próximas seções.

2.3.1 Geração

De acordo com Peral (1989), a geração de resíduos, ou seja, a quantidade de resíduos produzidos por uma população, é bastante variável e depende de uma série de fatores, entre eles:

- nível de vida da população: o volume gerado cresce à medida que a renda da população aumenta;
- a época do ano;
- modo de vida da população: é influenciado pela migração diária entre o centro da cidade e da periferia;

⁸ TCHOBANOGLOUS, G. *Solid Wastes: Engineering Principles and management. Issues*. Tokyo: McGraw-Hill, 1977.

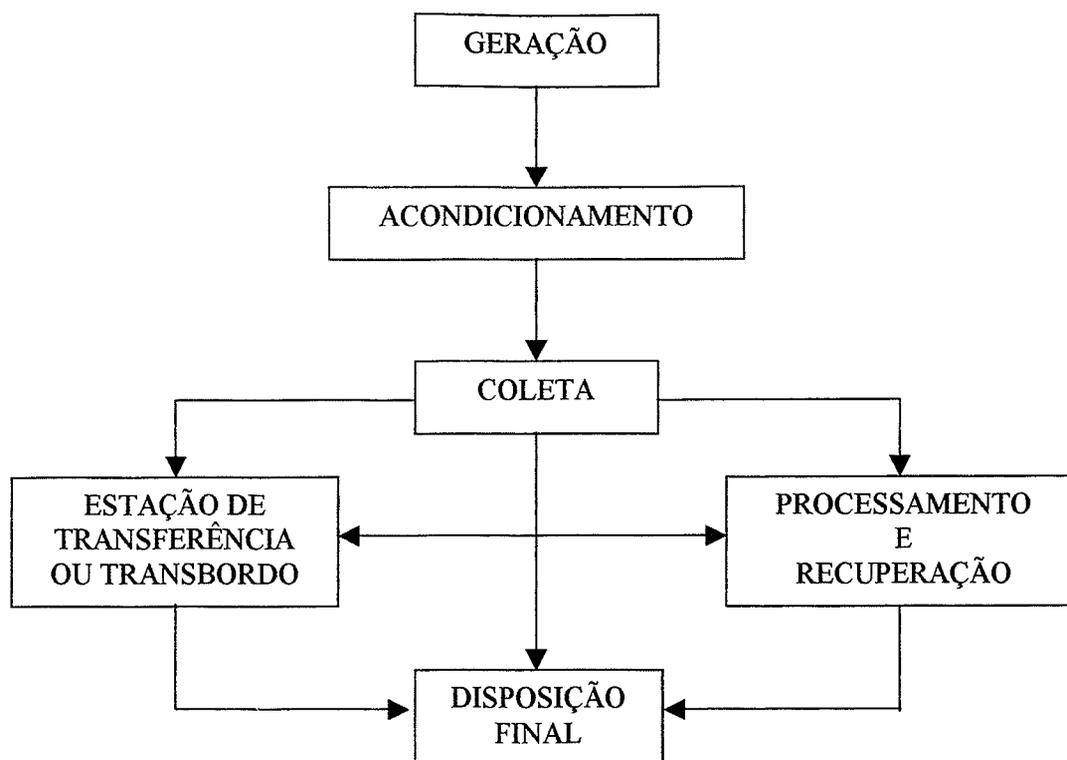


Figura 3 - O processo da coleta de resíduos sólidos e suas inter-relações.

Fonte: Tchobanoglous, citado por Canassa (1992)

- movimento da população durante os períodos de férias, fins de semana e dias festivos;
- os novos métodos de acondicionamento de mercadorias, tais como a utilização de envases e embalagens sem retorno.

As taxas de geração diária de resíduos total e *per capita* nos municípios pesquisados são descritas na Tabela 3. Percebe-se que a geração *per capita* nos municípios varia de 0,62 a 1,96 kg/hab/dia, sendo Belo Horizonte, a cidade que apresenta o maior valor.

Tabela 3. Dados sobre geração de resíduos sólidos urbanos em alguns municípios brasileiros, 2000.

Cidades	Geração diária	Geração <i>per capita</i>
Belo Horizonte	4.374 t/dia	1,96 kg/hab/dia
Caxias do Sul	275 t/dia	0,83 kg/hab/dia
Juiz de Fora	273 t/dia	0,62 kg/hab/dia
Jundiá	260 t/dia	0,87 kg/hab/dia

Fonte: Prefeituras dos municípios pesquisados.

No Brasil, as atividades gerenciais ligadas à fase de geração são pouco efetivas. Já em países desenvolvidos, é dada grande importância a essa fase, pois é nela que há potencial para a minimização da quantidade dos resíduos sólidos urbanos.

A minimização dessa quantidade pode ser obtida através da redução na própria fonte geradora dos resíduos, a partir da sua reutilização e da reciclagem, uma vez que é nesse momento que se pode proceder a separação do lixo gerado a fim de facilitar a coleta seletiva e reciclagem.

Peral (1989) define a redução na origem como sendo a redução do peso e/ou volume dos resíduos através da alteração de matéria prima, seja pela mudança do tipo de material empregado ou pela composição do mesmo, mudança no desenho da embalagem e/ou produto e troca de material tóxico por materiais menos tóxicos ou não tóxicos.

A redução da fonte e/ou origem, em termos de resíduos sólidos domiciliares, pode ser obtida pela sua não geração, através de alterações de hábitos, ou ainda, através da aquisição de produtos alternativos menos poluentes.

A reutilização consiste no aproveitamento do material nas condições em que é descartado, submetendo-o a pouco ou nenhum tratamento, exigindo apenas operações de limpeza, colocação de etiquetas, entre outras, como é o caso de reutilização de caixas, tambores e garrafas de vidro.

A reciclagem é o processo artesanal ou industrial através do qual os resíduos retornam ao sistema produtivo como matéria prima. Pode ser considerada como uma

forma de tratamento de parte dos resíduos sólidos gerados. Dada a sua importância, a reciclagem será melhor discutida posteriormente.

Nos Estados Unidos existe um órgão governamental denominado EPA - *Environmental Protection Agency* - que desenvolveu um *software* para o monitoramento da minimização da geração dos resíduos sólidos urbanos, chamado *ReduceIt*, cujo exemplo de aplicação pode ser visualizado no Anexo B.

2.3.2 Acondicionamento

A primeira etapa do processo de remoção dos resíduos sólidos corresponde à atividade de acondicionamento do lixo. Podem ser utilizados diversos tipos de vasilhames, tais como: vasilhas domiciliares, tambores, sacos plásticos, sacos de papel, *containers* comuns, *containers* basculantes, entre outros. No Brasil, percebe-se uma grande utilização de sacos plásticos.

De acordo com Brasil (2000), o lixo mal acondicionado significa poluição ambiental e risco à segurança da população, pois pode levar à incidência de doenças tais como: dengue, febre amarela, disenterias, febre tifóide, cólera, leptospirose, giardíase, peste bubônica, tétano, hepatite A ou infecciosa, malária, esquistossomose etc.

2.3.3 Coleta

Após o acondicionamento, os resíduos são depositados em locais apropriados ou nas vias públicas, para serem posteriormente coletados. A operação de coleta engloba desde a partida do veículo de sua garagem, compreendendo todo o percurso gasto na viagem para a remoção dos resíduos dos locais onde foram acondicionados aos locais de descarga até o seu retorno final ao ponto de partida.

Segundo Jardim *et al.* (2000), em 1997, a taxa de coleta de lixo no Brasil, considerando-se apenas os domicílios urbanos, era de aproximadamente 70%. Esse percentual, embora longe de ser o mais adequado, representa um avanço em relação aos valores de 1990 (64%) e de 1981 (49%). A Tabela 4 ilustra os dados relativos à coleta

para os municípios pesquisados neste trabalho que, por sinal, apresentaram índices de coleta extremamente favoráveis.

Tabela 4. Frequência de coleta e porcentagem da população atendida em alguns municípios brasileiros, 2000.

Cidades	% da população urbana atendida	Frequência da coleta
Belo Horizonte	91% (2.029.024)	3 x por semana (87% do município) diária (13% do município)
Caxias do Sul	100% (333.201)	de diária a quinzenal
Jundiá	100% (299.669)	não informado
Juiz de Fora	98% (434.492)	Diária - lixo domiciliar e comercial (4% das rotas) diária - lixo hospitalar (4% das rotas) 3 x por semana - lixo domiciliar (81% das rotas) 1 x por semana - lixo industrial e comercial (11% das rotas) 2 x por semana (coleta seletiva)

Fonte: Prefeituras dos municípios pesquisados.

A operação de coleta visa a recolher, de forma organizada, segura e econômica, todos os resíduos sólidos gerados pela comunidade e a depositá-los em locais de tratamento, em estações de transbordo ou encaminhá-los para a disposição final.

A coleta normalmente pode ser classificada em dois tipos de sistemas: sistema especial de coleta e sistema de coleta de resíduos não contaminados. Nesse último, a coleta pode ser realizada de maneira convencional ou seletiva.

No caso do sistema de coleta especial, coletam-se todos os resíduos contaminados, a exemplo dos resíduos dos serviços de saúde, radioativos etc. Neste caso, os resíduos são acondicionados em recipientes específicos e coletados de forma separada. Tal processo utilizado é semelhante ao de coleta por *containers*, em que o veículo coleta os resíduos armazenados em determinados pontos específicos, os quais, normalmente, preenchem a carga do veículo.

No sistema convencional de coleta dos resíduos não contaminados, em função do tipo de acondicionamento, a coleta pode ser feita ao longo das vias públicas ou por *containers*. Na coleta ao longo das vias públicas, o veículo coletor percorre todas as ruas, onde os resíduos são colocados, normalmente, em pequenos recipientes. É o processo mais comum, observado na maioria das cidades brasileiras.

Pode-se também coletar os resíduos não contaminados de maneira seletiva. A coleta seletiva viabiliza a reciclagem de matérias primas para a indústria de transformação (plásticos, vidros, latarias e papéis), além de prolongar a vida útil dos aterros em funcionamento, em função da redução da quantidade dos resíduos a eles destinados.

Os tipos de veículos coletores são dos mais diversos. Uma primeira grande classificação os separa entre motorizados e não-motorizados. Os não-motorizados são os que utilizam a tração animal como força motriz. Os motorizados podem ainda ser classificados em compactadores e comuns.

Os veículos compactadores podem possuir ou não dispositivo para basculamento de recipiente estacionário (vide Figuras 4 e 5). Além disso, de acordo com Querzoli (1988), os compactadores podem ter sistemas de carga descontínua (os mais comuns) ou contínua. Nos primeiros, é preciso parar o sistema de coleta quando o compactador entra em funcionamento, enquanto nos de carga contínua as operações de coleta e compactação podem ser realizadas conjuntamente. Segundo Parra *et al.* (2000), os veículos compactadores podem reduzir em até 1/3 o volume inicial dos resíduos.

Os veículos coletores comuns podem ser divididos em tratores, coletor de caçamba aberta e coletor com carrocerias tipo prefeitura ou baú, conforme descrito a seguir.

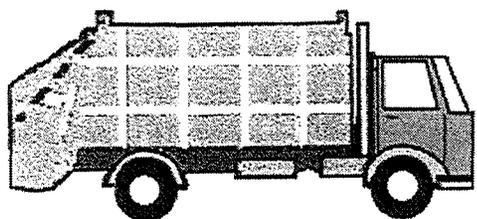


Figura 4 - Caminhão compactador para lixo domiciliar.

Fonte: Parra *et al.* (2000)

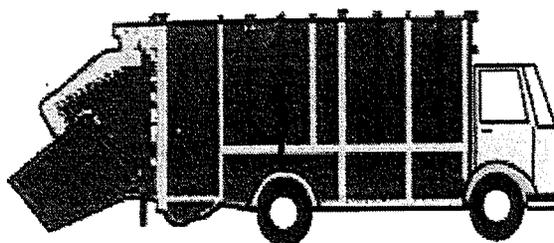


Figura 5 - Caminhão compactador com dispositivo para basculamento de recipiente estacionário.

Fonte: Parra *et al.* (2000)

- Tratores (vide Figura 6): podem ser utilizados em cidades de pequeno porte e em locais de difícil acesso a outros tipos de veículos.

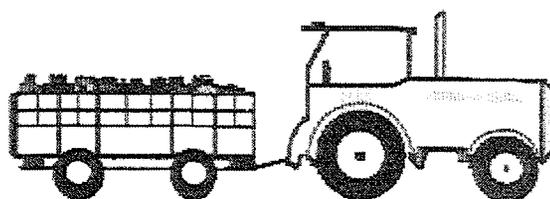


Figura 6 - Trator utilizado para a coleta de lixo.

Fonte: Parra *et al.* (2000)

- Coletor de caçamba aberta (vide Figura 7): segundo Philippi Junior (1986), este modelo tem como característica básica a caçamba construída em chapas de aço, com a parte superior aberta. Sua capacidade é, geralmente, de 5 a 10 m³ de resíduos.

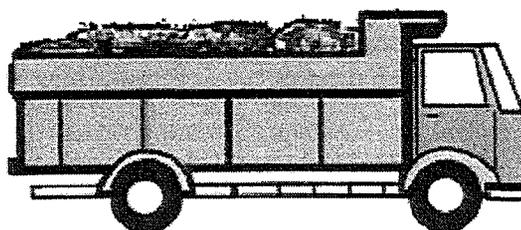


Figura 7 - Caminhão de caçamba aberta basculante.

Fonte: Parra *et al.* (2000)

- Coletor tipo prefeitura ou baú (vide Figura 8): de acordo com Querzoli (1988), este veículo coletor, que tem a parte superior fechada, possui uma caçamba construída com chapa de aço, com capacidade variando entre 3,5 a 15,5 m³.

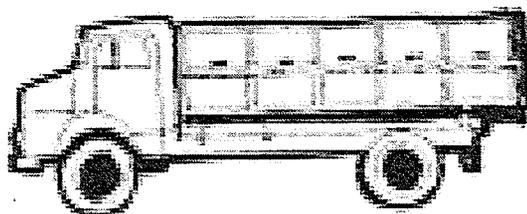


Figura 8 - Coletor tipo prefeitura ou baú.
Fonte: <http://www.resol.com.br>

Segundo Parra *et al.* (2000), há ainda o caminhão de carroceria aberta, com um pequeno guindaste móvel, que pode ser utilizado na remoção e transporte de resíduos provenientes de podas de árvores e também na coleta de Postos de Entrega Voluntária (PEV⁹) de materiais recicláveis. (vide Figuras 9 e 10).

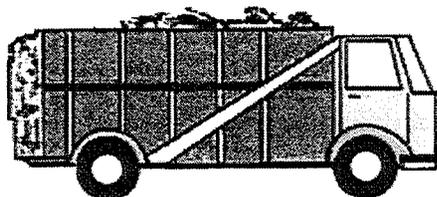


Figura 9 - Veículo poliguindaste para transporte de caçamba intercambiável.
Fonte: Parra *et al.* (2000)

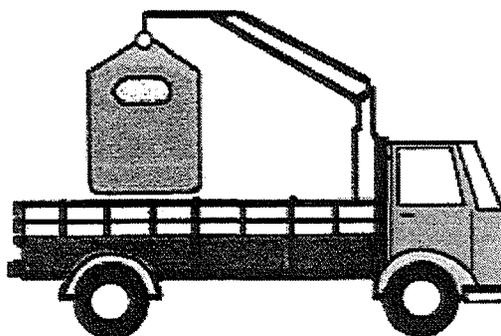


Figura 10 - Veículo com guindaste para coleta em postos de entrega voluntária (coleta seletiva) ou para coleta de podas.
Fonte: Parra *et al.* (2000)

⁹ Um PEV consiste de um conjunto de quatro *containers* de cores diferentes para a coleta seletiva, instalados em locais públicos e de fácil acesso.

Existem também os caminhões multi-caçamba, utilizados na coleta seletiva de recicláveis. Nesse tipo de veículo, metais, vidros, plásticos, papéis e matéria orgânica são alocados separadamente na carroceria do caminhão, como mostra a Figura 11.

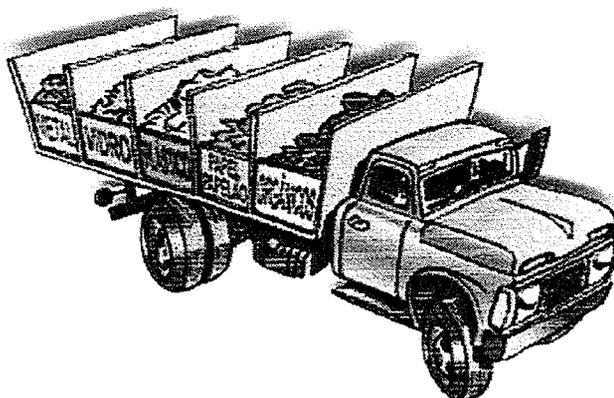


Figura 11 - Caminhão multi-caçamba utilizado na coleta seletiva de recicláveis.
Fonte: Guia da coleta... (1999)

De acordo com as empresas de coleta de lixo da cidade de São Paulo, “o perfil básico para que um caminhão se transforme em um catador de lixo ideal é que tenha capacidade para 16 a 17 toneladas, a cara-chata, cabine avançada, motorização entre 180 e 190 HP, entre-eixo de aproximadamente 4.500 mm e transmissão automática. Além disso, deve ter muita robustez no chassi e na suspensão traseira e facilidades para inclusão de um terceiro eixo, entre o dianteiro e o de tração. A transmissão automática nos veículos, apesar de ter um custo inicial maior, proporciona maior regularidade e economia para a operação e inibe constantes erros operacionais que são inevitáveis em uma operação em que se troca de marcha a cada três minutos. O limite de peso para o caminhão toco é de 16 toneladas brutas e nos trucks, 23 toneladas” (Bigarelli, 1997, p.20).

Ainda segundo Bigarelli (1997), existem algumas inovações implantadas pelas próprias oficinas transformadoras ou frotistas que, idealmente, deveriam vir desde a fábrica, tais como cabine dupla, com saídas laterais para os coletores, um escapamento elevado e um sistema pneumático de acionamento do terceiro eixo.

No Brasil, a escolha do veículo coletor é, ainda, bastante empírica. Ao se pensar em composição ótima de frota, veículos compactadores deveriam atuar em regiões de alta concentração de resíduos e caminhões comuns ou compactadores de baixa capacidade em regiões de concentração mais baixa. Além disso, somam-se situações como a escolha de métodos inadequados e uso de equipamentos incorretos pelos serviços de coleta municipal. Como exemplo, tem-se a utilização de caminhões-caçamba que, por serem abertos, transformam-se em disseminadores dos resíduos coletados, pelas ruas por onde passam.

No levantamento realizado nos municípios brasileiros já citados, identificou-se a caracterização dos veículos, suas capacidades e o tamanho do percurso para as cidades em questão, conforme descrito na Tabela 5. Percebe-se que, em Belo Horizonte e Caxias do Sul, a maioria dos veículos utilizados na coleta são comuns. Já em Bauru e Juiz de Fora, a maioria dos veículos utilizados são compactadores.

Tabela 5. Veículos utilizados na coleta/transporte do lixo e percurso total de algumas cidades brasileiras, 2000.

Cidades	Quantidade de veículos Compactadores/capacidade	Quantidade de veículos comuns/capacidade	Percurso diário
Bauru	14 / 15 m ³	6 / 6 m ³	1.600 km
Belo Horizonte	116 / 7 t	179 / 6 m ³	21.535 km
Caxias do Sul	6 / 17 m ³	tipo leme 8 / 13 a 15 m ³ caçamba aberta 7 / 40 m ³	2.144 km
Juiz de Fora	29 / 13 m ³	basculantes 14 / 5 m ³ caçamba aberta 4 / 20 m ³ poliguindaste 3 / 5 m ³	3.450 km

Fonte: Prefeituras dos municípios pesquisados.

Os resíduos coletados podem ser transportados para estações de transferência ou de transbordo, para locais de processamento e recuperação (incineração ou usinas de triagem e compostagem) ou mesmo para o seu destino final (aterros e lixões), conforme descrito nas seções seguintes.

2.3.4 Estação de transferência ou de transbordo

Segundo Mansur & Monteiro (2001), as estações de transferência ou de transbordo são locais onde os caminhões coletores descarregam sua carga dentro de veículos com carrocerias de maior capacidade para que, posteriormente, sejam enviadas até o destino final. O objetivo dessas estações é reduzir o tempo gasto no transporte e, conseqüentemente, os custos com o deslocamento do caminhão coletor desde o ponto final do roteiro até o local de disposição final do lixo. Costuma-se instalar estações de transferência quando as áreas disponíveis para disposição do lixo se encontram muito afastadas dos locais de coleta.

Ainda de acordo com Mansur & Monteiro (2001), existem duas alternativas para a construção de estações de transferência: sem e com compactação. As estações com compactação podem ter compactador estacionário ou veículo compactador que devem ser complementados por silos ou pátios de acumulação, com a finalidade de permitir o esvaziamento da carga dos carros coletores, sem a eventual presença de carretas na estação de transferência. A Tabela 6 ilustra as vantagens e desvantagens de cada tipo de estação de transferência citado.

2.3.5 Processamento e recuperação

Um dos métodos de processamento dos resíduos sólidos urbanos é a incineração. Segundo Roth *et al.* (1999), o método de incineração dos resíduos sólidos consiste na queima dos detritos em um incinerador ou usina de incineração, a temperaturas superiores a 900°C. Como vantagens do método, pode-se citar a redução

Tabela 6. Vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de estações de transferências.

Tipo	Vantagens	Desvantagens
Sem compactação	menor investimento	Condiciona o descarregamento à presença de carretas
Com compactador Estacionário	melhor aproveitamento da capacidade de carga das carretas	é o tipo mais caro
Com veículo Compactador	facilita a descarga da carreta	alto custo

Fonte: <http://www.resol.com.br>

significativa do volume dos dejetos municipais (principalmente cinzas de compostos orgânicos e aglomerados inorgânicos solidificados), a diminuição do potencial tóxico dos dejetos e a possibilidade de utilização da energia liberada com a queima (geração de eletricidade, vapor). Os mesmos autores destacam que os principais limitantes ou problemas derivados da incineração são os custos de instalação e de operação do sistema (cerca de US\$ 20 / t de lixo incinerado), a poluição atmosférica (emissão de dioxinas, por exemplo) e a necessidade de mão-de-obra qualificada. Ainda segundo Roth *et al.* (1999), no Brasil, até 1999, menos de trinta municípios incineravam seus resíduos sólidos.

Como exemplo de método de recuperação dos resíduos, citam-se a reciclagem e a compostagem.

A reciclagem é um processo através do qual materiais que se tornariam lixo são desviados para serem utilizados como matéria prima na manufatura de bens normalmente elaborados com matéria-prima virgem.

A reciclagem pode ser classificada de acordo com o material envolvido. Entre outras, tem-se as seguintes categorias, conforme Peral (1989):

- reciclagem primária: é o processamento dos resíduos para fabricação de um produto com características similares ao original. Enquadra-se neste grupo a reciclagem que ocorre internamente em uma fábrica (também chamada de reciclagem industrial), com o reaproveitamento de aparas, sobras, peças defeituosas ou fora de especificação. Neste caso, os produtos gerados não são considerados como produtos reciclados, pois, normalmente, há uma mistura com a matéria prima original. Uma característica desta reciclagem é a baixa contaminação do material.
- reciclagem secundária: é o processamento de resíduos com obtenção de produtos diferentes do original. Está associada, em geral, a um nível maior de contaminação. É o caso típico da reciclagem a partir dos resíduos sólidos urbanos, também chamada reciclagem pós-consumo. Os principais aspectos favoráveis da reciclagem secundária são: redução dos impactos ambientais, sanitários e sociais provocados tanto pelo lançamento indiscriminado de resíduos no ambiente, quanto pela implantação e operação de instalações destinadas ao seu tratamento e disposição final; diminuição do consumo de matérias primas virgens, muitas delas não renováveis, cuja exploração também gera impactos e pode tornar-se cada vez mais difícil e cara; redução nos custos de fabricação de alguns produtos, uma vez que o processamento de materiais recicláveis é, geralmente, menos dispendioso, sobretudo em termos energéticos; geração de renda e trabalho, principalmente numa escala que, em função das características de ocorrência e dispersão dos resíduos, favorece as micro e pequenas empresas ou mesmo a constituição de cooperativas.
- reciclagem terciária: implica a obtenção, a partir de um produto, dos componentes químicos básicos do mesmo (no caso dos plásticos, por exemplo, os derivados de petróleo originais). É obtida por diversos processos, tais como pirólise, hidrólise, entre outros. É também denominada reciclagem química. A compostagem de resíduos orgânicos

(que será melhor descrita a seguir) enquadra-se, de certo modo, nesta categoria.

- reciclagem quaternária: é a utilização do conteúdo energético dos materiais através de sua queima ou incineração. Também conhecida como reciclagem energética, difere das anteriores por não gerar novos produtos que incorporem os materiais já utilizados. Neste sentido, apesar do nome, não é propriamente uma reciclagem, mas sim um reaproveitamento de materiais.

Segundo Brasil (2000), dentre alguns benefícios da reciclagem pode-se citar a preservação dos recursos naturais, a diminuição da poluição do ar e das águas, a diminuição da quantidade de resíduos a serem aterrados e a geração de emprego através da criação de usinas de reciclagem.

Por outro lado, a reciclagem de resíduos sólidos enfrenta obstáculos que podem ser reais ou decorrentes de aspectos indiretos desfavoráveis. A principal dificuldade está associada à diminuição da qualidade técnica do material, em função dos sucessivos ciclos de vida (síntese - transformação - uso - descarte), ao longo dos quais algumas propriedades vão sendo alteradas. Como consequência, há uma tendência de que os materiais reciclados sejam usados para a obtenção de produtos com menores exigências técnicas e com menor valor de mercado. Por outro lado, é importante ressaltar que vários materiais (vidro, alumínio, alguns plásticos) mantêm suas características praticamente inalteradas ao serem reciclados.

Um segundo fator relacionado com a qualidade do material diz respeito ao grau de contaminação¹⁰ que o mesmo apresenta após o uso e, principalmente, após ser coletado da forma tradicional, em que predomina uma mistura bastante intensa dos resíduos. Uma boa separação favorece a recuperação dos materiais a serem reciclados.

De modo geral, segundo Peral (1989), há duas formas de se realizar tal separação:

¹⁰ Entende-se por contaminação não somente a ocorrência de “sujeira”, mas também a presença conjunta de materiais diferentes. Ambas podem prejudicar a qualidade do produto reciclado, bem como o próprio processamento, acarretando a introdução de etapas adicionais de descontaminação (triagem, lavagem e secagem).

- coleta comum seguida de triagem: os resíduos são coletados sem preocupação quanto à separação, sendo enviados para um ponto de triagem, que pode estar associado a uma unidade de compostagem, de incineração ou a um aterro. A forma mais comum de separação é a visual/manual, realizada por funcionários que ficam ao longo de uma esteira rolante. Procedimentos de separação com eletroímãs ou em função da granulometria ou da densidade também podem ser empregados. A principal característica desse método é que praticamente não há alterações na coleta do lixo (inclusive quanto aos custos), em relação a uma situação sem reciclagem. Por outro lado, os resíduos chegam ao local de separação muito misturados (principalmente quando são coletados utilizando-se veículos compactadores), aumentando bastante a contaminação dos materiais, sobretudo com matéria orgânica. Além disso, a separação manual apresenta baixa eficiência e constitui-se numa atividade insalubre, que pode acarretar em uma alta rotatividade de mão-de-obra.
- coleta seletiva de recicláveis: os resíduos são coletados evitando-se a mistura indesejável e desnecessária dos materiais a serem reciclados, promovendo-se sua coleta em locais e/ou momentos diferentes daqueles da coleta comum. A principal vantagem é uma melhoria significativa na qualidade de tais materiais, cuja contaminação fica bastante reduzida. Acrescente-se a isto, a vantagem de demandar uma participação mais ativa da população, aumentando sua consciência quanto aos resíduos que são gerados por ela.

Um outro fator que pode limitar a reciclagem de resíduos é de natureza financeira e refere-se ao custo comparativamente menor de se utilizar matéria prima virgem na fabricação de determinados produtos. Entretanto, o preço da matéria virgem raramente considera os custos ambientais e sociais decorrentes do consumo de recursos não renováveis e da necessidade de destinação dos resíduos. A incorporação de tais custos pode vir a tornar a comparação financeira mais favorável à reciclagem.

A compostagem, ou seja, a fabricação de compostos orgânicos a partir do lixo, é um método de decomposição do material orgânico putrescível (restos de alimentos, aparas e podas de jardins, folhas etc.) existente no lixo, sob condições adequadas, de forma a se obter um composto orgânico (húmus) para utilização na agricultura. Apesar de ser considerado um método de tratamento, a compostagem também pode ser entendida como um processo de reciclagem do material orgânico presente no lixo, o que possibilita enorme redução da quantidade de material a ser disposto no aterro sanitário, uma vez que somente será disposto o que for rejeitado no processamento.

Segundo Peral (1989), uma das técnicas de compostagem é a vermicompostagem onde são utilizadas minhocas para a produção do composto, que recebe o nome de vermicomposto. As minhocas ingerem a matéria orgânica previamente compostada, portanto, já anteriormente submetida a um processo de bioestabilização, excretando-a em adiantado estado de humificação, na forma de coprólitos (excrementos fossilizados), com grande disponibilização de nutrientes e capacidade de absorção de umidade.

A partir do levantamento realizado em alguns municípios brasileiros, pôde-se construir a Tabela 7, que ilustra métodos de processamento e recuperação do lixo nos municípios brasileiros pesquisados.

Percebe-se que em todas as cidades há algum tipo de processamento e/ou recuperação dos resíduos sólidos coletados, sendo a coleta seletiva a mais comum.

2.3.6 Disposição Final

Em se tratando das alternativas de disposição final do lixo, Consoni *et al.* (2000b) afirmam que o aterro sanitário é o que reúne as maiores vantagens, considerando a redução dos impactos ocasionados pelo descarte dos resíduos sólidos urbanos. Baseada em critérios de engenharia que permitem a quase total inertização da massa de lixo, tornando-a praticamente “não-reagente” com o meio externo, os autores

Tabela 7. Métodos utilizados para processamento e recuperação do lixo em alguns municípios brasileiros, 2000.

Cidades	Tipo de processamento e/ou recuperação	Capacidade da usina	Lixo reciclável	Composição dos recicláveis (% volume)	Preços recicláveis (em R\$/t)	Receita total obtida
Bauru	Coleta Seletiva 92 % porta-a-porta 8% Entrega voluntária	não informado	59 t /mês	9,3% papelão 18,8% papel 15,3% plástico 14,74 % longa vida 22,3% vidro 9,53% ferro 0,41% alumínio 9,72 % PET	papelão -120 papel - 50 papel branco - 170 jornal - 100 plástico - 170 embalagens longa vida - 50 caco de vidro - 30 plástico grosso - 130 ferro - 40 alumínio - 1.500 plástico branco - 350 plástico fino - 200 PET - 240 tampa de PET - 500	R\$6.346,00/mês
Belo Horizonte	Coleta Seletiva Entrega voluntária	não há usina ¹¹	292,62 t/dia	1,3% compostado 5,7% papel, metal e plástico 93% entulho reciclável	não informado	não informado

¹¹ Em Belo Horizonte, os materiais recicláveis coletados são encaminhados a três galpões, onde é feita a triagem dos materiais recicláveis visando a sua comercialização.

Tabela 7. Métodos utilizados para processamento e recuperação do lixo em alguns municípios brasileiros, 2000.

Cidades	Tipo de processamento e/ou recuperação	Capacidade da usina	Lixo reciclável	Composição dos recicláveis (% volume)	Preços recicláveis (em R\$/t)	Receita total obtida
Caxias do Sul	Coleta Seletiva porta-a-porta	18 t/dia	22-27 t/dia	41,3% papel 17,75% vidro 20,42% plástico 18,93% metal 1,60% outros (isopor, madeira, etc.)	papelão - 180 papel misto - 120 jornal - 100 papel branco - 190 vidro - 55 PET - 250 plástico fino - 220 plástico grosso - 200 sacolinha - 30 sucata ferrosa - 40 alumínio (lata) - 1.150 alumínio misto - 1.200	R\$34.740,00/mês
Jundiá	Não informado	40 t/dia	40 t/dia	20% papel 10% vidro 53% plástico 11% metal 6% outros	papel - 130 vidro - 100 plástico - 170 metal - 85 isopor - 210 Tetrapak - 65	R\$32.000,00/mês
Juiz de Fora	Triagem e segregação para reciclagem	80 t/dia	12,96 t/dia	46,39% papel/papelão 13,91% vidro 10,20% plástico 27,83% metal 1,11% alumínio 0,56% borracha	papel - 141 vidro - 20 plástico - 281 metal - 55 alumínio - 1.660	não informado

Fonte: Prefeituras dos municípios pesquisados.

destacam que a instalação de um aterro sanitário apresenta as seguintes características principais: subdivisão da área do aterro em células de colocação de lixo; disposição dos resíduos no solo previamente preparado para que se torne impermeável, impossibilitando o contato dos líquidos residuais (águas das chuvas e chorume¹²) com o lençol freático; presença de lagoas de estabilização para a biodegradação da matéria orgânica contida nos líquidos residuais; presença de drenos superficiais para a coleta da água das chuvas; drenos “de fundo” para a coleta do chorume; presença de drenos para a dispersão do metano; coletores dos líquidos residuais em direção às lagoas de estabilização e confinamento do lixo em camadas cobertas com material inerte (solo vegetal).

A eficiência do aterro sanitário, segundo Roth *et al.* (1999), é dependente tanto da definição correta de sua vida útil, em função das necessidades presentes e futuras (nunca deve ser inferior a 20 anos de uso), quanto da existência e da aplicação de normas operacionais específicas que garantam o preenchimento seqüencial das células de lixo, sua revegetação após o recobrimento e a manutenção do sistema de coleta e tratamento dos líquidos e gases eliminados.

Os aterros continuam existindo até nos países mais desenvolvidos, operando mesmo quando há programas de coleta seletiva e unidades de reciclagem, compostagem e incineração.

Outro método de disposição final dos resíduos é o aterro controlado. Segundo Roth *et al.* (1999), é menos prejudicial que os lixões pelo fato de os resíduos dispostos no solo serem posteriormente recobertos com terra, o que acaba por reduzir a poluição local. Porém, trata-se de solução com eficácia bem inferior à possibilitada pelos aterros sanitários, pois ao contrário destes, não ocorre a inertização da massa de lixo em processo de decomposição, principalmente por serem geralmente instalados sem que se faça a impermeabilização da base e a instalação de drenos (coleta do chorume e dispersão dos gases resultantes da decomposição). Assim, problemas ambientais

¹² Segundo Consoni *et al.* (2000b), chorume é o líquido preto com alto potencial poluidor do solo e das águas superficiais e subterrâneas, resultante da decomposição da matéria orgânica presente no lixo e a percolação das águas das chuvas ao longo do tempo, o que faz com que o líquido penetrante na massa de resíduos adquira características levemente ácidas, em consequência de processos químicos que ali ocorrem.

originados no interior dos aterros controlados podem ser remetidos a longas distâncias, gerando, da mesma forma que no caso dos lixões, impactos negativos.

De acordo com Consoni *et al.* (2000b), os lixões constituem uma forma inadequada de descarte final dos resíduos sólidos urbanos, sendo porém a mais comum na grande maioria das cidades dos países em desenvolvimento, fazendo com que resíduos inofensivos convivam com produtos tóxicos e perigosos. Problemas e inconvenientes como depreciação da paisagem, odores da decomposição de restos orgânicos, chorume, presença de vetores de doenças (moscas, ratos, baratas, mosquitos), formação de gás metano¹³ e a degradação social de pessoas são fatores comuns a todos os lixões.

Segundo Prandini *et al.* (1995), a maioria dos resíduos sólidos municipais coletados nas cidades brasileiras (aproximadamente 76% do total recolhido) não recebe destinação final adequada, sendo despejada em lixões a céu aberto, nos quais não há qualquer espécie de tratamento inibidor ou redutor dos seus efeitos poluidores. Ainda segundo o mesmo autor, apenas 10% do volume total coletado são depositados em aterros sanitários, 13% vão para aterros controlados; 0,9% para usinas de triagem e compostagem e 0,1% é destinado à incineração.

Os dados referentes aos métodos de disposição final do lixo nas cidades pesquisadas estão descritos na Tabela 8. Observa-se que os aterros nos municípios pesquisados têm vida útil restante de, no máximo, 4 anos. Percebe-se ainda que em todas as cidades, exceto em Juiz de Fora, o lixo é enviado a aterros sanitários.

¹³ Metano (CH₄) é um gás incolor combustível decorrente da ação das bactérias no material em decomposição. Segundo Consoni *et al.* (2000b), dentre os seus malefícios estão os incêndios, os riscos de explosões, pela penetração do gás nos solos adjacentes, e também a morte da vegetação das cercanias, pela redução do oxigênio do solo.

Tabela 8. Os aterros sanitários em alguns municípios brasileiros, 2000.

Cidades	% enviada ao aterro sanitário	% enviada ao aterro controlado	Área do aterro	Vida útil	Vida útil restante
Bauru	100% (220 t/dia)	-	4,86 ha	12 anos	4 anos
Belo Horizonte	93,3% (4.081 t/dia)	-	132,00 ha	26 anos	2 anos
Caxias do Sul	278,6 t/dia ¹⁴	-	4,00 ha	10 anos	1 ano
Jundiaí	100% (260 t/dia)	-	12,80 ha	15 anos	1 ano e 6 meses
Juiz de Fora	-	98%	4,16 ha	11 anos	não informado

Fonte: Prefeituras dos municípios pesquisados.

2.4 Custos relacionados ao gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos

A determinação correta dos custos é fundamental para se avaliar o desempenho dos serviços prestados e da empresa como um todo, contribuindo para a melhoria da qualidade da tomada de decisões. No caso das prefeituras, essas informações são necessárias para que a eficiência das empresas prestadoras dos serviços de coleta de lixo possa ser avaliada, auxiliando na determinação da remuneração a ser paga por esses serviços.

A Figura 12 ilustra os custos de coleta, transporte, processamento e disposição final dos resíduos em Belo Horizonte (Minas Gerais - Brasil) e Juiz de Fora (Minas Gerais - Brasil). Os dados completos dos custos nessas cidades estão apresentados no Anexo C. Percebe-se, de acordo com a Figura 12, que os custos da Prefeitura de Belo Horizonte são mais elevados que os da Prefeitura de Juiz de Fora. Para a coleta de lixo

¹⁴ Esse valor inclui resíduos especiais e podas.

residencial urbano, por exemplo, em Belo Horizonte, o custo é de R\$39,26/tonelada, enquanto em Juiz de Fora o custo é de R\$22,15/tonelada.

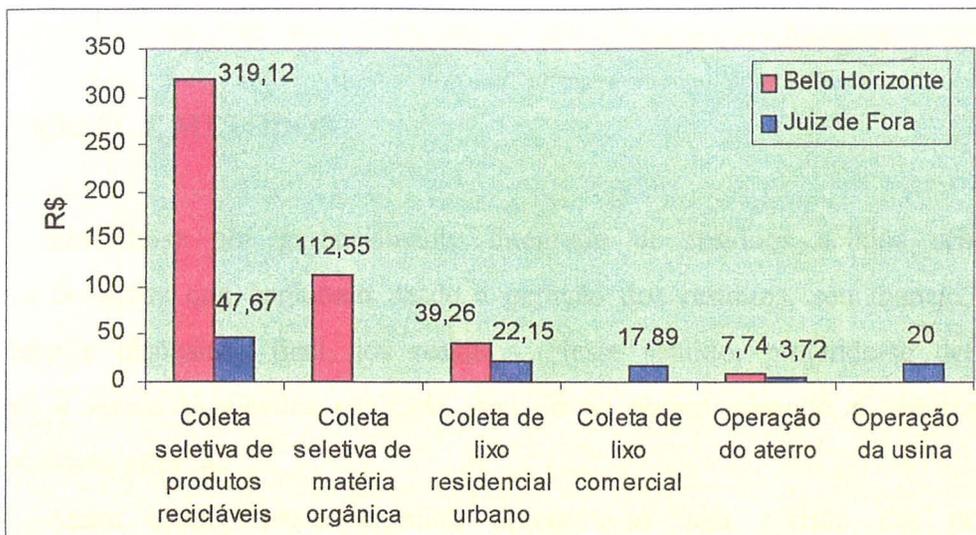


Figura 12 - Comparação dos custos envolvidos no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos entre algumas cidades.

Fonte: Prefeituras dos municípios pesquisados.

De acordo com São Paulo (2000), em São Paulo, a maior cidade brasileira, o custo dos serviços de coleta, tratamento e destinação final do lixo em 1997 foi de R\$ 420.922.300,00 para aproximadamente 5.003.174 toneladas de resíduos, o que corresponde a aproximadamente R\$ 84,13 por tonelada.

Este trabalho procurará reunir cada uma das etapas descritas do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos e tratá-las de maneira integrada, conforme detalhado no próximo capítulo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Entende-se por gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos o conjunto de ações que englobam desde a geração dos resíduos, seu manejo, coleta, tratamento e disposição final dos resíduos. Nesse sentido, pretende-se determinar objetivos a serem alcançados em cada uma destas etapas, visando a otimização do processo como um todo.

Assim sendo, neste capítulo, apresenta-se uma revisão das principais abordagens documentadas na literatura para a otimização do gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos, como também descreve-se a metodologia a ser utilizada nesse estudo. Posteriormente, será proposto o modelo a ser aplicado a uma situação real, bem como a caracterização do gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos no estudo de caso analisado e a especificação dos dados a serem utilizados no modelo.

É importante ressaltar que neste trabalho serão abordados o sistema convencional de coleta e a coleta seletiva, além da reciclagem secundária.

3.1 Modelos de otimização para o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos

Encontra-se na literatura uma vasta aplicação de métodos de Pesquisa Operacional para resolução dos mais diversos tipos de problemas relacionados ao gerenciamento de situações que envolvam resíduos sólidos urbanos.

Mandl (1979) descreve o problema da coleta de lixo em *containers*, ainda não muito difundido no Brasil, como similar ao do Caixeiro Viajante¹⁵.

Chaves (1985) apresentou um procedimento heurístico¹⁶ aplicado a redes mistas para a otimização da coleta de resíduos sólidos em um bairro de Florianópolis.

Costa (1982) realizou o levantamento de algumas restrições associadas a leis de trânsito no Brasil e manobras de veículos. Propôs um modelo de otimização de redes¹⁷ aplicado a redes orientadas, não-orientadas ou mistas¹⁸ e efetuou algumas demonstrações destas técnicas utilizando-se de dados reais das cidades de Fortaleza e Aracaju.

Mation (1982) e Gomes (1990), apesar de não proporem nenhum modelo, utilizaram as técnicas de resolução do “problema do carteiro chinês¹⁹”. Mation (1982), por exemplo, utilizou-a para redes orientadas na otimização da coleta do bairro de Botafogo no Rio de Janeiro.

Canassa (1992) apresenta um modelo para o planejamento de roteiros de coleta de resíduos sólidos urbanos, objetivando reduzir o tamanho do percurso e melhorar a utilização da capacidade dos veículos coletores. Definiu-se o estabelecimento de um

¹⁵ Conforme Gass & Harris (1996), o problema do Caixeiro Viajante (*Traveling Salesman Problem*) consiste em determinar a rota mais econômica que comece e termine em um ponto específico, visitando uma única vez cada um dos pontos requerentes de serviços. O problema pode ser descrito da seguinte maneira: se um Caixeiro Viajante deseja passar exatamente uma vez em cada uma de n cidades de uma lista, sendo que os custos de transporte entre as cidades são conhecidos, qual é a rota de menor custo possível de ser realizada?

¹⁶ Gass & Harris (1996) definem um procedimento heurístico como um conjunto de regras ou passos que levam a uma solução que pode ou não ser ótima. As regras são baseadas nas características dos problemas e na experiência e intuição do tomador de decisão.

¹⁷ De acordo com Gass & Harris (1996), os modelos de Otimização de Redes (*Network Optimization*) podem ser divididos em dois grandes grupos: Planejamento Operacional (*Operational Planning*) e Estruturação de Sistemas (*Design System*). No primeiro caso, todas as características da rede são conhecidas e o objetivo é utilizar a rede existente da maneira mais eficiente possível. No segundo caso, estrutura-se a melhor configuração de uma rede, minimizando os custos e fornecendo um nível de serviço eficiente aos clientes. Costa (1982) utilizou um modelo de Planejamento Operacional para otimização de redes.

¹⁸ Segundo Canassa (1992), redes orientadas são aquelas onde as vias que as compõem possuem apenas uma mão de direção. As redes não-orientadas são compostas de vias que possuem duas mãos de direção. Nas redes mistas existem vias com uma ou duas mãos de direção.

¹⁹ Segundo Gass & Harris (1996), o problema do carteiro chinês (*Chinese Postman Problem*) consiste em montar uma rota que cubra cada rua de uma determinada zona postal que necessita ser servida pelo carteiro e que leve esse carteiro de volta ao seu ponto de origem. O custo e a distância percorrida deverão ser os menores possíveis.

modelo composto por duas vias principais para a realização do planejamento: a primeira, através de um procedimento que pode ser totalmente informatizado e a segunda, visando ao manuseio de redes que não possibilitam a construção de determinadas etapas no plano bidimensional, através de uma heurística parcialmente informatizada. O estudo foi aplicado ao planejamento dos roteiros de coleta realizados entre as terças e sextas-feiras, na área central de Florianópolis, SC, com geração média diária, nos dias pré-determinados, de 30 t/dia. Como resultado, além da ferramenta desenvolvida para o planejamento, atingiu-se, no estudo de caso, uma redução de 13% no comprimento dos percursos iniciais.

Aguiar (1993) realizou um estudo para estimar o tamanho de uma frota de veículos e equipes de trabalho para a coleta e o transporte de resíduos sólidos domiciliares em cidades de pequeno e médio porte. Além disso, seu modelo permite avaliar os custos totais, médios, marginais, assim como a influência de uma ou mais variáveis sobre eles, à medida que as mesmas são alteradas ou que o sistema operacional é modificado (forma geométrica da cidade, densidade populacional, tecnologia utilizada na coleta, taxa de geração e composição dos resíduos sólidos domiciliares da cidade, periodicidade e velocidade de coleta, localização e viabilidade de implantação de estações de transferência de resíduos sólidos, coleta separada do lixo reciclável, localização do pátio de estacionamento dos veículos, distância entre a cidade e o local de disposição final do lixo, entre outras).

Para a elaboração do modelo, Aguiar (1993) dividiu a cidade em setores com densidade populacional e taxa de geração de lixo constantes em toda a sua extensão, além de considerar a malha viária constituída, basicamente, de vias ortogonais e frotas de veículos para coleta de resíduos recicláveis e não recicláveis padronizadas. Com o modelo, consegue-se realizar análises de sensibilidade que possibilitam identificar as características da cidade e da operação que mais contribuem para o acréscimo ou decréscimo nos custos, recursos de equipamento e força de trabalho para os serviços de coleta de resíduos sólidos domiciliares.

Kulcar (1996) desenvolveu um modelo aplicado na cidade de Bruxelas, utilizando métodos de pesquisa operacional para demonstrar como os custos de

transporte de lixo podem ser minimizados em determinada área. O trabalho foi dividido em duas fases distintas. Na primeira, utilizou Programação Inteira Mista²⁰ com o objetivo de detectar a necessidade da instalação de uma estação de transferência entre as rotas de coleta e o incinerador a fim de minimizar o custo de transporte. Diversas localizações para as estações de transferências foram consideradas. A segunda fase foi proposta a partir de utilização de programação inteira²¹ com vistas à minimização do custo de transporte até os locais de disposição final dos resíduos. Na segunda fase também foram consideradas várias localizações para os depósitos, assim como o impacto da redução do número de depósitos no processo de coleta. Concluiu-se que nenhuma estação de transferência extra deveria ser instalada, pois todas as localizações testadas para tanto levavam a maiores custos de operação. Outra conclusão obtida foi a de que dos treze depósitos existentes, a melhor situação é a que considera apenas quatro deles. A solução proposta pelo problema sinalizava para uma redução potencial de aproximadamente 9% nos custos iniciais.

Quando se esgota a capacidade dos locais para disposição final do lixo, a busca de um novo local pode consumir tempo. Os métodos existentes para identificar novos locais para disposição do lixo levam em consideração fatores, tais como distâncias das rodovias, propriedades nas proximidades e propensão dos solos a serem contaminados por soluções resultantes de processos industriais. Este tipo de decisão requer conhecimentos em diversas áreas, tais como ciência do solo, sociologia, engenharia e economia. Muttiah *et al.* (1996) propõem um modelo de localização de depósitos de lixo em Indiana através da utilização das cadeias de Markov²². Além disso, os autores

²⁰ De acordo com Ackoff (1971), Programação Inteira Mista é um modelo de programação linear com o requisito adicional de que algumas variáveis devem ser inteiras.

²¹ Segundo Ackoff (1971), nos modelos de Programação Inteira, todas as variáveis deverão assumir valores inteiros.

²² Segundo Pinto (2000), as Cadeias de Markov podem ser usadas para processos que envolvam modelos físicos ou econômicos em que o conjunto de sucessos possíveis é finito e a probabilidade do próximo sucesso dependerá apenas do sucesso imediatamente anterior, ou seja, o seu comportamento passado não fornece nenhuma informação relevante na determinação da probabilidade. Além disso, estas probabilidades devem ser constantes no tempo. Os conceitos de Cadeias de Markov são adequados para a análise de problemas probabilísticos, tais como os problemas de estoques e de filas de espera.

propõem o uso de “*Simulated Annealing*”²³ em conjunto com um Sistema de Informação Geográfica (*Geographical Information Systems – GIS*²⁴) para encontrar locais adequados para a disposição final de resíduos sólidos perigosos.

MacDonald (1996) desenvolveu um programa visando a aprimorar o processo de decisão no que tange ao gerenciamento da coleta de resíduos sólidos. O estudo foi denominado “*Specific spatial decision support system (SDSS)*”. A autora alega que o gerenciamento do lixo envolve diversos fatores distintos, tais como: custos, exigências legislativas, uso da terra, geração de poluição, uso de recursos, entre outros. Sendo assim, para se tomarem decisões relacionadas a sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos, os *trade-offs* entre estes fatores devem ser considerados. O SDSS inclui sistemas e modelos para fornecer, organizar e analisar dados relevantes e um GIS (*Geographical Information System*). Para utilizar o SDSS como uma ferramenta de avaliação de políticas, os planejadores deveriam, primeiramente, desenvolver um conjunto de cenários a serem considerados. Cada um desses cenários seria analisado pelo SDSS e os resultados fornecidos poderiam ser comparados e analisados pelo tomador de decisão. A ferramenta auxilia os planejadores a entenderem como as alternativas de gerenciamento

²³ De acordo com Kado (1998), a técnica de *Simulated Annealing* é derivada do processo de temperagem física de um metal. A temperagem objetiva a obtenção de um material sólido no estado tal que os seus átomos assumam padrões regulares. O primeiro passo do processo envolve a fusão do material, seguido de uma redução gradual de temperatura. O estado que o material assume refere-se à configuração de energia mínima de seus átomos. Tal configuração, por sua vez, corresponde ao valor mínimo da função objetivo de um problema de otimização. Uma solução viável para o problema de otimização pode ser considerada como uma possível configuração do material. Para se alcançar o equilíbrio térmico a uma dada temperatura, é necessário que a temperatura se mantenha estável durante um período suficientemente longo. Exprimindo em termos de *Simulated Annealing*, isto implica que o número de soluções viáveis geradas na vizinhança do ponto ótimo, a uma dada temperatura, deve ser suficientemente grande. Uma solução nessa região é a nova solução viável próxima da solução atual, de modo similar a um pequeno deslocamento de um átomo do material produzindo uma nova configuração.

²⁴ Segundo Deluqui (1998), um GIS (*Geographical Information System*) pode ser definido como uma coleção organizada de hardware, software, dados geográficos e pessoal, projetado para eficientemente, capturar, armazenar, atualizar, manipular, analisar e apresentar todas as informações referenciadas geograficamente. Constitui-se basicamente em um mapeador temático automatizado, onde as informações obtidas são representadas na forma de “níveis de informação” ou *layers* e tais características se unem à potencialidade dos bancos de dados automatizados. Os GIS gerenciam e integram banco de dados e arquivos geográficos (linhas, pontos e áreas). Além da possibilidade de lidar com diversas projeções cartográficas, os GIS possuem capacidade de tratar as relações espaciais entre objetos cartográficos (identifica a topologia) e estas podem ser obtidas através de algoritmos. O GIS do estudo continha informações a respeito de uso do solo, rodovias, córregos, rios, entre outros.

dos resíduos sólidos podem afetar a população e o meio ambiente. O fluxo funcionaria conforme ilustrado na Figura 13.

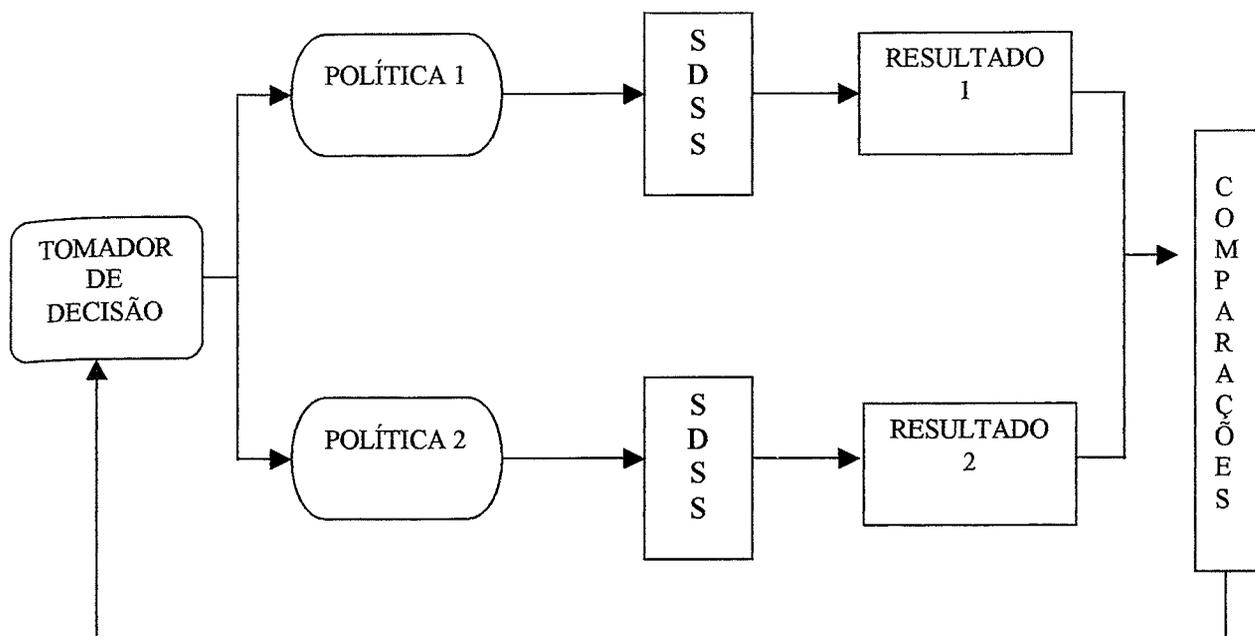


Figura 13 - Fluxo de gerenciamento dos resíduos sólidos.

Fonte: MacDonald (1996)

Posteriormente, através de sugestões dadas pelos responsáveis pelo gerenciamento da coleta do lixo na Filadélfia, MacDonald (1996), modificou o sistema. Esta modificação consistiu no desenvolvimento e inserção de modelos de programação matemática no SDSS para auxiliar os planejadores no desenvolvimento de cenários.

Sudhir *et al.* (1996) propõem um modelo de gerenciamento integrado da coleta de resíduos sólidos utilizando uma técnica de Pesquisa Operacional denominada Programação por Metas²⁵, com o objetivo de facilitar o consenso entre os diversos objetivos a serem perseguidos simultaneamente, método a ser abordado com detalhes, na

²⁵ Programação por Metas é um método de tomada de decisão multi-critérios utilizado para resolver problemas que contemplem múltiplos objetivos (Gass & Harris, 1996). Em Programação por Metas, a função objetivo será sempre uma função de minimização, composta pela soma dos desvios (negativos e/ou positivos) que se pretende minimizar. As metas a serem atingidas serão representadas nos lados direitos das equações (ou *Right-Hand-Side* - RHS). Em cada lado esquerdo das equações (ou *Left-Hand-Side* - LHS) sempre existirão, além das variáveis, dois termos denominados desvio positivo e desvio negativo. O desvio positivo corresponde ao valor em que a meta ficará acima do nível estabelecido como meta. O desvio negativo corresponde ao valor que contribui para uma redução no valor estabelecido como meta. Se os desvios negativo e positivo são iguais a zero, a meta foi atingida.

próxima seção. Os autores propõem um modelo de programação não-linear por metas que abrange seis objetivos, sendo os quatro primeiros de competência do município, o quinto relacionado aos catadores de lixo (reciclantes informais) e o sexto relacionado a empresas privadas engajadas no processo:

1. Minimizar o desvio negativo relacionado aos objetivos da coleta
2. Minimizar o desvio positivo em relação aos objetivos ambientais
3. Minimizar o desvio positivo do orçamento planejado
4. Minimizar a soma dos desvios positivos e negativos do número planejado de veículos
5. Minimizar o desvio negativo do objetivo de empregabilidade
6. Minimizar o desvio negativo do objetivo de receitas das usinas de triagem e compostagem

As restrições consideradas para este problema de Programação Não-Linear por Metas envolviam:

1. Quantidade de lixo coletada - a quantidade de resíduos sólidos coletados pelo município e pelos catadores informais não pode exceder a quantidade total de lixo gerada em uma zona.
2. Capacidade de processamento das plantas - a quantidade de resíduos sólidos enviados às usinas de triagem e compostagem não pode exceder a capacidade das mesmas.
3. Capacidade dos locais de disposição final - o volume total de lixo enviado aos locais de disposição final não pode exceder suas capacidades.
4. Quantidade reduzida nos locais de processamento - a quantidade de resíduos sólidos transferida de um local de processamento para um local de disposição final é uma fração do lixo que é recebido pela planta de processamento.
5. Quantidade reciclável - a quantidade reciclável deixada nas ruas é uma função da composição do lixo, dos catadores de lixo e da coleta pelo município (a não linearidade do modelo é consequência, unicamente, da especificação matemática adotada para esta restrição).

Eisenstein & Iyer (1997) investigaram a programação de caminhões de lixo em Chicago. As análises dos dados coletados mostraram que a cidade é dividida em setores com taxas diversas de geração de lixo. No sistema então vigente, cada caminhão visitava o depósito duas vezes por dia. A abordagem dos autores visava a desenvolver um esquema flexível de rotas, no qual algumas rotas teriam apenas uma ida aos depósitos enquanto outras teriam duas idas diárias, dependendo dos setores designados para cada rota. Utilizaram-se os conceitos de Cadeias de Markov para modelar o impacto na capacidade de usar rotas flexíveis. Os resultados do modelo sugeriram uma redução na capacidade do caminhão de 12 a 16% para um conjunto de cinco blocos, o que significou uma redução potencial em custos de US\$ 9 milhões por ano.

3.2 Programação por Metas (*Goal Programming*)

De acordo com Lee *et al.* (1990), o conceito de Programação por Metas, bastante semelhante ao conceito tradicional de Programação Linear, foi originalmente introduzido por A. Charnes e W. W. Cooper e posteriormente desenvolvido por Y. Ijiri, S. M. Lee e outros.

Entretanto, em programação linear, os modelos são desenvolvidos considerando-se apenas um objetivo a ser minimizado ou maximizado. Não é possível encontrar uma solução que, simultaneamente, consiga minimizar custo e maximizar a confiabilidade dos acionistas, por exemplo. O que se faz em programação linear é uma simplificação da realidade, pois na maioria das situações reais, a solução ótima está relacionada a diversos objetivos. Uma maneira de se tratar múltiplos objetivos é selecionar um deles como principal e os demais como secundários. O principal seria usado como medida de otimização enquanto os secundários seriam tratados como restrições do problema, atribuindo-se valores mínimos e/ou máximos a eles. Entretanto, se os níveis das restrições não forem determinados de maneira cuidadosa, pode não existir uma solução ótima que satisfaça todas as restrições simultaneamente. Desta maneira, para problemas com múltiplos objetivos, o uso da técnica de programação por metas passa a ser uma alternativa interessante.

De acordo com Ravindran (1986), em programação por metas, para cada objetivo é determinado um nível que deverá ser atingido. A programação por metas trata esses objetivos como metas e não como restrições. É importante destacar a diferença entre a restrição real e a restrição relacionada à meta (ou simplesmente meta). As restrições reais são relacionadas às variáveis de decisão, enquanto as metas são condições que devem ser atingidas, mas que não são obrigatórias ou restritivas. Por exemplo, uma restrição real como a da equação (1),

$$x_1 + x_2 = 3 \quad (1)$$

obriga que todos os valores possíveis para $x_1 + x_2$ sejam sempre iguais a 3.

Por outro lado, uma meta que requer que $x_1 + x_2 = 3$ não é obrigatória, implicando que a solução pode conter valores maiores ou iguais a 3, bem como menores ou iguais a 3. Assim sendo, nas metas, são introduzidas variáveis que representam os desvios negativos e positivos do objetivo inicial a ser atingido, como mostra a equação (2).

$$x_1 + x_2 + d_1^- - d_1^+ = 3 \quad (2)$$

sendo

$$d_1^+, d_1^- \geq 0 \quad (3)$$

Perceba-se que se $d_1^- > 0$, então $x_1 + x_2 < 3$ e se $d_1^+ > 0$, então $x_1 + x_2 > 3$.

Deve-se atribuir pesos adequados a cada um dos desvios para comporem a função objetivo, que deve ser minimizada. Para o exemplo anterior, atribuindo-se pesos w_1^- e w_1^+ para d_1^- e d_1^+ , respectivamente, tem-se a função objetivo, representada na equação (4).

$$\min Z = w_1^- d_1^- + w_1^+ d_1^+ \quad (4)$$

Dessa forma, o modelo irá tentar fazer com que a soma $x_1 + x_2$ chegue o mais próximo possível de 3. Se a meta é satisfazer $x_1 + x_2 \geq 3$, então deve ser dado um valor positivo ao peso de d_1^+ , enquanto o peso para d_1^- deverá ser igual a zero.

Se os pesos relativos (w_1^- e w_1^+) são especificados, o problema de programação por metas se reduz a um problema de programação linear comum.

Entretanto, muitas vezes os desvios têm unidades diferentes, o que torna uma adequada atribuição de pesos difícil ou até mesmo impossível. Por exemplo, uma empresa que tem dois objetivos, maximizar o lucro e minimizar a emissão de poluentes, apresenta objetivos incomensuráveis, pois o primeiro é medido em unidades monetárias e o segundo, por exemplo, em toneladas de produtos químicos gerados. Para resolver esta incompatibilidade de medidas, a programação por metas define prioridades para os objetivos através de uma classificação ordinal, o que é feito determinando níveis de prioridade a cada objetivo incomensurável e, dentro de cada nível de prioridade, são definidos os pesos dos desvios. A função objetivo ficaria descrita conforme ilustra a equação (5):

$$\min Z = \sum_k P_k \sum_i (w_{ik}^+ d_i^+ + w_{ik}^- d_i^-) \quad (5)$$

onde P_k representa a prioridade k , sendo que P_k é maior que P_{k+1} e w_{ik}^+ e w_{ik}^- são os pesos atribuídos à variável relacionada ao i -ésimo desvio na prioridade k . Desta maneira, níveis de prioridade mais baixos só serão considerados após os níveis de prioridade mais altos terem sido atingidos.

De acordo com Lee *et al.* (1990), como o problema de programação por metas é uma forma de programação linear, estes problemas devem ser formulados sob as mesmas hipóteses, limitações e condições da programação linear: linearidade, divisibilidade e característica determinística. Além disso, da mesma maneira que os problemas de programação linear, a programação por metas também poderá ser resolvida utilizando-se o método Simplex²⁶.

De acordo com Ravindran *et al.* (1986), a programação por metas pode ser aplicada em diversos problemas de planejamento nos quais os benefícios são multidimensionais e não diretamente comparáveis. Como exemplos de aplicação podemos citar gerenciamento de florestas, planejamento do uso da terra, recursos

²⁶ O método Simplex é um algoritmo que, utilizando-se de processos iterativos, leva à solução ótima de um problema. O método Simplex, aplicado aos problemas de programação por metas, é semelhante ao método aplicado à programação linear (Lee *et al.*, 1990).

hídricos, proteção ambiental, seleção de portfólio, transporte, marketing, planejamento da produção, controle de qualidade etc.

O modelo geral de Programação por Metas pode então ser expresso da seguinte maneira:

$$\min Z = \sum_{i=1}^m (w_i^+ d_i^+ + w_i^- d_i^-) \quad (6)$$

sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + d_i^- - d_i^+ = b_i \quad \text{para todo } i \quad (7)$$

$$x_j, d_i^-, d_i^+ \geq 0 \quad \text{para todo } i \text{ e } j \quad (8)$$

A equação (6) representa a função objetivo que minimiza a soma ponderada dos desvios. A equação (7) representa o conjunto de restrições associadas a cada uma das metas. O conjunto de inequações representada pela expressão (8) representa as restrições padrão de não-negatividade de todas as variáveis.

3.2.1 Ilustração de programação por metas

Para ilustrar o conceito de Programação por Metas será apresentado um exemplo²⁷ que contempla as prioridades dadas a cada uma das metas bem como os pesos diferentes que podem ser atribuídos aos desvios dentro de cada prioridade.

Uma usina de triagem e reciclagem de lixo com uma capacidade mensal de recepção de 300 toneladas de lixo por mês processa três tipos de produtos recicláveis: vidro, plástico e papel, utilizando dois tipos de mão-de-obra: a dos separadores, com 500 horas-homem disponíveis, e a dos operadores de máquinas, com 350 horas-homem disponíveis. A quantidade de horas necessárias para cada produto é mostrada na Tabela 9.

²⁷ Exemplo desenvolvido pela autora.

Tabela 9. Dados do problema.

Funcionários	Vidro (horas-homem)	Plástico (horas-homem)	Papel (horas-homem)
Separadores	9	3	5
Operadores de máquinas	5	4	0

O lucro unitário estimado é de 45, 200 e 230 Unidades Monetárias (U.M.)/tonelada, para vidro, plástico e papel, respectivamente. O salário dos operadores de máquina é duas vezes maior que o salário dos separadores.

Tem-se como metas:

Meta 1 - atingir um lucro de, no mínimo, 20.000 U.M. por mês.

Meta 2 - evitar subutilização da mão-de-obra.

Meta 3 - evitar a utilização de hora-extra.

Meta 4 - evitar subutilização da capacidade de recepção da usina.

Tais metas teriam prioridades (P_i) distintas e, no caso, $P_1 > P_2 > P_3 > P_4$.

Desta maneira, a primeira meta reflete o lucro mínimo a ser obtido com a venda dos produtos reciclados, levando-se em consideração o lucro unitário que cada um proporciona (9):

$$45x_1 + 200x_2 + 230x_3 + d_1^- - d_1^+ = 20000 \quad (9)$$

onde x_1 , x_2 e x_3 são as quantidades a serem processadas de vidro, plástico e papel, respectivamente. A variável de desvio d_1^- reflete a quantia, em U.M., abaixo do lucro mínimo esperado (20.000 U.M.), enquanto d_1^+ representa o lucro acima de 20.000 U.M. A função objetivo seria representada conforme ilustra a expressão (10):

$$\min Z = P_1 d_1^- \quad (10)$$

As metas relacionadas às horas-homem disponíveis são dadas pelas equações (11) e (12):

$$9x_1 + 3x_2 + 5x_3 + d_2^- - d_2^+ = 500 \quad (11)$$

$$5x_1 + 4x_2 + d_3^- - d_3^+ = 350 \quad (12)$$

Na equação (11), d_2^- representa a subutilização da mão-de-obra dos separadores, enquanto d_2^+ representa a utilização de horas-extras dos separadores. De maneira análoga, na equação (12), d_3^- representa a subutilização da mão-de-obra dos operadores de máquinas, enquanto d_3^+ representa a utilização de horas-extras dos operadores de máquinas. Com essas equações, a segunda e a terceira metas podem ser incorporadas à função objetivo, resultando na seguinte expressão:

$$\min Z = P_1 d_1^- + P_2 d_2^- + 2P_2 d_3^- + P_3 d_2^+ + 2P_3 d_3^+ \quad (13)$$

Esses quatro novos termos na função objetivo refletem a segunda e a terceira metas a serem minimizadas. Cada uma das metas tem dois termos, com pesos diferentes, que variam de acordo com o salário de cada tipo de funcionário. Isto significa que a minimização de d_3^- é duas vezes mais importante que a minimização de d_2^- e a minimização de d_3^+ é duas vezes mais importante que a minimização de d_2^+ . Nesse caso, os pesos são utilizados para diferenciar metas de mesma prioridade, pois o salário dos operadores de máquina é duas vezes maior que o salário dos separadores.

Vale ressaltar que nenhuma das metas associadas à P_3 (minimização de d_2^+ e d_3^+) é mais importante que as metas associadas à P_2 (minimização de d_2^- e d_3^-) que, por sua vez, não são mais importantes que a meta relacionada à P_1 (minimização de d_1^-).

A última meta a ser atingida está relacionada à capacidade mensal de recepção da usina, conforme ilustra a equação (14):

$$x_1 + x_2 + x_3 + d_4^- - d_4^+ = 300 \quad (14)$$

Na equação (14), d_4^- representa a subutilização da capacidade de recepção da usina. Ao incluir esta nova meta, a função objetivo ficaria representada conforme a equação (15):

$$\min Z = P_1 d_1^- + P_2 d_2^- + 2P_2 d_3^- + P_3 d_2^+ + 2P_3 d_3^+ + P_4 d_4^- \quad (15)$$

Portanto, o modelo de programação por metas para este problema seria assim formulado:

$$\min Z = P_1 d_1^- + P_2 d_2^- + 2P_2 d_3^- + P_3 d_2^+ + 2P_3 d_3^+ + P_4 d_4^- \quad (16)$$

$$45x_1 + 200x_2 + 230x_3 + d_1^- - d_1^+ = 20000 \quad (17)$$

$$9x_1 + 3x_2 + 5x_3 + d_2^- - d_2^+ = 500 \quad (18)$$

$$5x_1 + 4x_2 + d_3^- - d_3^+ = 350 \quad (19)$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + d_4^- - d_4^+ = 300 \quad (20)$$

Resolvendo o problema por programação por metas, chega-se à seguinte solução:

$$Z = 165$$

$$d_1^- = 0 \quad d_1^+ = 8425$$

$$d_2^- = 0 \quad d_2^+ = 0$$

$$d_3^- = 0 \quad d_3^+ = 0$$

$$d_4^- = 165 \quad d_4^+ = 0$$

$$x_1 = 0 \quad x_2 = 87,5 \quad x_3 = 47,5$$

Portanto, tem-se que a meta relacionada à obtenção do lucro de 20.000 U.M foi ultrapassada, pois o desvio positivo relacionado a essa meta (d_1^+) foi de 8.425, o que significa que o lucro obtido foi de 28.425 U.M. Os desvios negativos e positivos relacionados à segunda e à terceira meta ($d_2^-, d_2^+, d_3^-, d_3^+$) foram todos iguais a zero. Isso significa que foram utilizadas as 500 horas-homem disponíveis dos separadores e as 350 horas-homem disponíveis dos operadores de máquinas. Em relação à quarta meta, o desvio negativo relacionado a ela (d_4^-) foi de 165, indicando, assim, que não se está utilizando a capacidade total de recepção mensal da usina (300 ton/mês). Um desvio negativo de 165 indica que a usina está recebendo 135 toneladas de lixo por mês. Ainda de acordo com os resultados obtidos, pôde-se perceber que deverão ser processadas 87,5 toneladas de vidro e 47,5 toneladas de papel.

3.3 O modelo proposto

Como já comentado anteriormente, diversos modelos quantitativos foram desenvolvidos para tratar dos diferentes aspectos do gerenciamento e planejamento de atividades relacionadas a resíduos sólidos urbanos, dentre outras, alocação do lixo dos pontos de coleta aos locais de disposição final, rotas para os veículos de coleta, alternativas de disposição final, localização de usinas de transferência, usinas de triagem e compostagem e locais para disposição final.

O gerenciamento da coleta de resíduos sólidos deve levar em consideração as questões relacionadas à minimização dos custos de operação. É importante que toda a estrutura operacional instalada seja utilizada ao máximo e que as rotas sejam bem trabalhadas a fim de que se obtenha diminuições de percurso e conseqüentemente, reduções em custos. Entretanto, sabe-se dos problemas causados por um mau gerenciamento através, por exemplo, da disseminação de vetores nocivos ao meio ambiente e à saúde, o que leva à conclusão de que, paralelamente ao fator custo, os fatores relacionados ao meio ambiente e à saúde da população devem ser considerados.

Desta maneira, pretende-se propor uma abordagem que englobe múltiplos objetivos contemplando ações integradas ao sistema de coleta do lixo e que seja viável e sustentável, ou seja, que satisfaça objetivos de curto prazo sem acarretar danos que poderão ser percebidos somente no longo prazo.

Deve-se salientar que o modelo a ser proposto é de natureza tática/operacional, não sendo apropriado para definições decorrentes de planejamento estratégico, cabendo-lhe a tentativa de otimização e detecção de falhas na operação, dada a estrutura do sistema de gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos vigente na cidade de Piracicaba - SP e que será avaliada neste trabalho.

3.3.1 Especificação das metas

A falta de coleta regular do lixo expõe a população ao contato direto com matéria orgânica em decomposição, processo que no Brasil, país de clima tropical,

ocorre muito rapidamente. A matéria orgânica decomposta constitui excelente meio de proliferação de bactérias patogênicas e de vetores transmissores de doenças.

Sendo assim, a primeira meta²⁸ será minimizar a quantidade não coletada mensalmente na cidade. Para isto, tem-se a cidade dividida em n setores i sendo que cada setor tem sua respectiva taxa de geração de lixo mensal, que será definida como meta a ser coletada, representada por MI_i . A restrição relacionada a esta meta está representada na equação (21).

$$X_i + dc_i^- - dc_i^+ = MI_i \quad \text{para todo } i \quad (21)$$

onde:

X_i é a quantidade transportada de cada setor (i) até o aterro sanitário;

dc_i^- e dc_i^+ são os desvios negativo e positivo, por setor, da quantidade coletada em relação à quantidade gerada;

MI_i é a primeira meta do modelo, que representa a quantidade estimada de geração de resíduos em cada setor (i).

A parcela da função objetivo associada a esta meta é representada pela equação (22).

$$\min Z = P_1 \sum_{i=1}^n dc_i^- \quad (22)$$

onde:

Z é a variável que representa a soma dos desvios a serem minimizados;

P_1 é a prioridade associada a essa meta.

Nessa meta, apenas o desvio negativo (dc_i^-) deverá ser minimizado, pois ele representa a quantidade não coletada nos setores. O desvio positivo (dc_i^+) deverá ser igual a zero, pois a quantidade coletada (X_i) não poderá ser maior que a quantidade gerada (MI_i).

²⁸ No decorrer desse trabalho, as metas serão tratadas segundo a ordenação especificada nessa seção. Entretanto, ao aplicar o modelo, serão considerados diferentes tipos de ordenação, que serão descritos em momento apropriado.

A segunda meta do modelo diz respeito ao percurso mensal, por setor, realizado pelos caminhões coletores. A restrição relacionada a esta meta está expressa na equação (23).

$$2 \times e_i \times v_i \times dias_i + dg \times 2 \times dias_i + \frac{X_i}{dens_i} + dp_i^- - dp_i^+ = M2_i \text{ para todo } i \quad (23)$$

onde:

e_i é a distância média de cada setor (i) ao aterro;

v_i é o número de viagens diárias realizadas de cada setor (i) ao aterro;

dg é a distância do aterro à garagem;

$dias_i$ é o número de dias em um mês de coleta em cada um dos setores;

$dens_i$ é a densidade²⁹ de coleta de cada setor (i);

dp_i^- e dp_i^+ são os desvios negativo e positivo, por setor, relacionados ao alcance da meta $M2_i$;

$M2_i$ é a segunda meta do modelo, que corresponde à quilometragem a ser alcançada mensalmente em cada setor (i).

O primeiro termo da equação (23) - $2 \times e_i \times v_i \times dias_i$ - corresponde à distância percorrida do aterro sanitário a cada um dos setores durante um mês de coleta. Multiplica-se esse termo por 2, porque a cada viagem realizada do aterro ao setor, os caminhões deverão retornar ao aterro para descarregar o lixo coletado. O segundo termo da equação (23) - $dg \times 2 \times dias_i$ - representa a distância mensal percorrida da garagem ao aterro sanitário. A multiplicação por 2 nesse termo é realizada, sobretudo porque, geralmente, o aterro sanitário situa-se entre a garagem e os setores de coleta. Desta maneira, o caminhão sairia no início do dia para iniciar a coleta, passaria pelo local do aterro sanitário e se dirigiria para os setores de coleta. Ao final do serviço, o lixo coletado na última viagem seria depositado no aterro de onde o veículo coletor seguiria

²⁹ A densidade representa quantos quilogramas são coletados por quilômetro percorrido no setor em questão.

para a garagem. O terceiro termo da equação (23) - $\frac{X_i}{dens_i}$ - indica a quilometragem percorrida durante um mês de coleta dentro de cada setor.

A função objetivo passaria então a ser representada por:

$$\min Z = P_1 \sum_{i=1}^n dc_i^- + P_2 \sum_{i=1}^n dp_i^+ \quad (24)$$

onde P_2 é a prioridade associada à meta de minimização de distância percorrida.

Pretende-se coletar a maior quantidade de lixo possível, percorrendo-se a menor distância possível. Sendo assim, o desvio a ser minimizado deverá ser o positivo, que representa a quilometragem percorrida acima da estabelecida como meta.

Ainda em relação à coleta, pretende-se minimizar a sub ou superutilização dos veículos coletores. A restrição relacionada a esta meta é descrita na equação (25).

$$\frac{\sum_{i=1}^n X_i}{\sum_{i=1}^n v_i \times dias_i \times cap} + dv^- - dv^+ = M3 \quad (25)$$

onde:

cap é a capacidade dos caminhões;

dv^- e dv^+ são os desvios negativo e positivo relacionados à sub e à superutilização da frota;

$M3$ é a terceira meta do modelo, que está relacionada ao número de veículos a serem utilizados no mês.

Deve-se minimizar, na função objetivo, os dois desvios da meta da frota total a ser utilizada, pois nesse caso, interessa-se minimizar a sub e a superutilização de veículos. A nova função objetivo passa a ser representada por:

$$\min Z = P_1 \sum_{i=1}^n dc_i^- + P_2 \sum_{i=1}^n dp_i^+ + P_3 wv_3 dv^- + P_3 wv'_3 dv^+ \quad (26)$$

onde wv_3 e wv'_3 são os pesos atribuídos aos desvios negativos e positivos, respectivamente, e P_3 é a prioridade associada à meta do número de veículos a serem

utilizados no mês. Vale ressaltar que wv'_3 deverá ser maior que wv_3 , visto que a superutilização da frota seria mais prejudicial que a subutilização.

Os aterros sanitários podem ser considerados como sendo a melhor alternativa de disposição final dos resíduos. Entretanto, quanto menos lixo chegar aos aterros, maior será a sua vida útil e menos problemas a cidade enfrentará na procura de novos locais para disposição final dos resíduos. Desta maneira, deve-se tentar utilizar ao máximo a capacidade de usinas de triagem e reciclagem dos municípios para que a menor quantidade possível de resíduos coletados seja levada até o aterro. Sendo assim, a quarta meta diz respeito à minimização da quantidade de resíduos sólidos que é transportada diretamente das zonas (i) para o aterro sanitário, representada pela equação (27) ou (28). A utilização de uma ou outra equação dependerá do tipo de resíduos a serem transportados ao local de processamento. A meta relacionada a este objetivo corresponde à capacidade máxima de recepção das usinas de triagem e reciclagem de resíduos sólidos urbanos.

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n Y_{ti} + da^- - da^+ = M4 \quad (27)$$

ou

$$\sum_{i=1}^n B_i + da^- - da^+ = M4 \quad (28)$$

onde :

Y_{ti} é a quantidade coletada, seletivamente, dos T materiais recicláveis t por setor i ;

B_i é a quantidade de resíduos coletados convencionalmente, por setor, a ser enviada à usina de triagem/compostagem.

da^- e da^+ são os desvios negativo e positivo relacionados à qualidade ambiental

$M4$ é a quarta meta do modelo, relacionada à qualidade ambiental e que corresponde à capacidade máxima de recepção das usinas de triagem e reciclagem;

Desta maneira, é necessário minimizar na função objetivo, o desvio ambiental negativo, pois esse desvio contribui para a não utilização da capacidade máxima de recepção das usinas de triagem e reciclagem, conforme descrito na equação (29).

$$\min Z = P_1 \sum_{i=1}^n dc_i^- + P_2 \sum_{i=1}^n dp_i^+ + P_3 wv_3 dv^- + P_3 wv'_3 dv^+ + P_4 da^- \quad (29)$$

onde P_4 é a prioridade associada à meta de qualidade ambiental.

A quinta meta diz respeito à minimização das despesas com coleta, transferência, tratamento e disposição final do lixo coletado de maneira convencional. A equação (30) representa a restrição relacionada a esta meta.

$$c_i + do_i^- - do_i^+ = M5_i \quad \text{para todo } i \quad (30)$$

onde:

c_i é o custo de coletar, transferir o lixo dos setores i para o aterro, incluindo o custo de disposição no aterro. O custo de coleta é composto por uma parte fixa (depreciação, peças, salários dos motoristas e coletores) e por uma parte variável (gastos com combustível). O custo de disposição no aterro é composto pelo salário dos motoristas, pedreiros e ajudantes; gasto médio com combustível; gastos com os equipamentos (máquina de esteira, pá carregadeira, caminhões e retroescavadeiras);

do_i^- e do_i^+ são os desvios negativo e positivo, por setor, relacionados à meta orçamentária.

$M5_i$ é a meta orçamentária operacional para a coleta convencional em cada setor (i).

O desvio relacionado ao orçamento da coleta convencional que deverá ser minimizado é o positivo, pois ele contribui para um acréscimo nos valores de custos estabelecidos como metas. O desvio negativo relacionado a essa meta indica que os gastos estão sendo menores que os estabelecidos como metas. Nesse caso, ou a meta está sendo superestimada ou houve alguma economia nos gastos com a coleta. A função objetivo ficaria então descrita conforme ilustra a equação (31):

$$\min Z = P_1 \sum_{i=1}^n dc_i^- + P_2 \sum_{i=1}^n dp_i^+ + P_3 wv_3 dv^- + P_3 wv'_3 dv^+ + P_4 da^- + P_5 \sum_i^n do_i^+ \quad (31)$$

onde P_5 é a prioridade associada à meta orçamentária.

A sexta meta associada ao modelo é relacionada ao orçamento destinado à coleta seletiva dos resíduos urbanos, conforme mostra a expressão (32):

$$m_i + dos_i^- - dos_i^+ = M6_i \quad \text{para todo } i \quad (32)$$

onde:

m_i é o custo de processar o lixo reciclável dos setores i ;

dos_i^- e dos_i^+ são os desvios negativo e positivo, por setor, relacionados à meta orçamentária;

$M6_i$ é a meta orçamentária operacional da coleta seletiva dos resíduos urbanos em cada setor (i).

Da mesma maneira como acontece com a coleta convencional, o desvio positivo relacionado à meta de custos com a coleta seletiva deverá ser minimizado, conforme ilustra a função objetivo na equação (33):

$$\begin{aligned} \min Z = & P_1 \sum_{i=1}^n dc_i^- + P_2 \sum_{i=1}^n dp_i^+ + P_3 wv_3 dv^- + P_3 wv'_3 dv^+ + P_4 da^- + \\ & + P_5 \sum_{i=1}^n do_i^+ + P_6 \sum_{i=1}^n dos_i^+ \end{aligned} \quad (33)$$

A sétima meta do modelo diz respeito ao alcance de um percentual mínimo de material coletado seletivamente por setor. São poucos os municípios brasileiros que realizam este tipo de coleta e, mesmo naqueles que a realizam, o montante de lixo coletado seletivamente ainda é baixo. De qualquer forma, tal meta é representada pela equação (34).

$$\sum_{t=1}^T Y_{ti} + ds_i^- - ds_i^+ = M7_i \quad \text{para todo } i \quad (34)$$

onde:

$M7_i$ é a meta de quantidade ótima a ser coletada seletivamente em cada setor

i .

Para essa meta, assim como para a meta relacionada à quantidade a ser coletada convencionalmente, o desvio negativo de coleta é o desvio a ser minimizado, pois a ele corresponde a quantidade não coletada seletivamente. Ao incluir essa meta, a função objetivo passa a ser descrita pela equação (35):

$$\begin{aligned} \min Z = & P_1 \sum_{i=1}^n dc_i^- + P_2 \sum_{i=1}^n dp_i^+ + P_3 wv_3 dv^- + P_3 wv'_3 dv^+ + P_4 da^- + \\ & + P_5 \sum_{i=1}^n do_i^+ + P_6 \sum_{i=1}^n dos_i^+ + P_7 \sum_{i=1}^n ds_i^- \end{aligned} \quad (35)$$

A oitava meta do modelo, representada pela equação (36), diz respeito ao alcance de uma densidade média a ser obtida por setor. A densidade representa a quantidade de lixo a ser coletada por quilômetro percorrido.

$$dens_i + dd_i^- - dd_i^+ = M8 \quad \text{para todo } i \quad (36)$$

onde:

dd_i^- e dd_i^+ são os desvios negativo e positivo, por setor, relacionados à meta de densidade $M8$.

Quanto mais constante for essa densidade em cada um dos setores, melhor distribuídos estão os setores e, conseqüentemente, as equipes de trabalho, já que cada uma delas é responsável por, pelo menos, um setor. Sendo assim, pretende-se minimizar os dois desvios. Entretanto, a minimização de dd_i^- é mais importante que a minimização de dd_i^+ , visto que o primeiro contribui para uma diminuição da densidade média a ser atingida, portanto, wd_8 deverá ser maior que wd'_8 .

A função objetivo ficaria então descrita como mostra a equação (37):

$$\begin{aligned} \min Z = & P_1 \sum_{i=1}^n dc_i^- + P_2 \sum_{i=1}^n dp_i^+ + P_3 wv_3 dv^- + P_3 wv'_3 dv^+ + P_4 da^- + \\ & + P_5 \sum_{i=1}^n do_i^+ + P_6 \sum_{i=1}^n dos_i^+ + P_7 \sum_{i=1}^n ds_i^- + P_8 wd_8 \sum_{i=1}^n dd_i^- + P_8 wd'_8 \sum_{i=1}^n dd_i^+ \end{aligned} \quad (37)$$

A nona meta está relacionada à produtividade dos coletores em cada setor. Quanto mais uniforme for a produtividade, mais bem distribuídas estão as equipes de

trabalho. Além disso, produtividades abaixo ou acima do padrão estabelecido estarão demonstrando sub ou superutilização da mão-de-obra dos coletores.

A meta de produtividade, ilustrada na equação (38), será medida em termos de quilogramas coletados a mais ou a menos que os quilogramas estabelecidos como meta por coletor por dia.

$$X_i + dpr_i^- - dpr_i^+ = M9_i \quad \text{para todo } i \quad (38)$$

onde:

dpr_i^- e dpr_i^+ são os desvios negativo e positivo, por setor, relacionados à meta de produtividade dos coletores $M9_i$.

Como na meta anterior, pretende-se minimizar os dois desvios. A minimização de dpr_i^- deverá ter preferência em relação à minimização de dpr_i^+ , pois o primeiro desvio contribui para uma diminuição da produtividade dos coletores. Sendo assim, wpr'_9 deverá ser maior que wpr_9 .

A função objetivo completa para o modelo em questão fica então representada através da equação (39):

$$\begin{aligned} \min Z = & P_1 \sum_{i=1}^n dc_i^- + P_2 \sum_{i=1}^n dp_i^+ + P_3 wv_3 dv^- + P_3 wv'_3 dv^+ + P_4 da^- + \\ & + P_5 \sum_{i=1}^n do_i^+ + P_6 \sum_{i=1}^n dos_i^+ + P_7 \sum_{i=1}^n ds_i^- + P_8 wd_8 \sum_{i=1}^n dd_i^- + P_8 wd'_8 \sum_{i=1}^n dd_i^+ + \\ & + P_9 wpr_9 \sum_{i=1}^n dpr_i^+ + P_9 wpr'_9 \sum_{i=1}^n dpr_i^- \end{aligned} \quad (39)$$

As restrições reais que compõem o modelo são:

- Restrição de quantidade coletada

Esta restrição impõe que a quantidade de lixo transferida dos setores para o local de processamento acrescida da quantidade de lixo transferida dos setores para os aterros não totalizem um valor maior que a quantidade gerada em cada zona.

$$X_i + \sum_{t=1}^T Y_{ti} + B_i \leq g_i \quad \text{para todo } i \quad (40)$$

onde:

g_i é a quantidade de resíduos gerados em cada setor.

- Restrição de capacidade da usina de triagem e compostagem

Esta restrição indica que a capacidade máxima de recepção no local de processamento deve ser respeitada.

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n Y_{ti} \leq CAPAC \quad (41)$$

ou

$$\sum_{i=1}^n B_i \leq CAPAC \quad (42)$$

onde:

$CAPAC$ é a capacidade máxima de recepção da usina de triagem e compostagem.

As seguintes equações contábeis foram incorporadas ao modelo:

- Cálculo do nível de processamento 1

Esta equação indica a quantidade a que devem ser reduzidos, através do processo de triagem / reciclagem ($indice_t$), os resíduos coletados convencionalmente e transportados dos setores para o local de processamento. O valor encontrado (A_t) é igual à quantidade, em toneladas, de cada material reciclável t proveniente desse processo.

$\sum_{i=1}^n B_i - \sum_{t=1}^T A_t$ deve ser igual à quantidade que será transferida da usina para os aterros.

$$\sum_{i=1}^n B_i \times indice_{1t} = A_t \quad \text{para todo } t \quad (43)$$

- Cálculo do nível de processamento 2

Esta equação indica a quantidade a que devem ser reduzidos, através do processo de triagem / reciclagem ($indice_{2t}$), os resíduos coletados seletivamente e transportados dos setores para o local de processamento. O valor encontrado (R_t) é igual à quantidade, em toneladas, de cada material reciclável t proveniente desse processo.

$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n Y_{it} - \sum_{t=1}^T R_t$ deve ser igual à quantidade que será transferida do local de processamento para os aterros.

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n Y_{it} \times indice_{2t} = R_t \quad \text{para todo } t \quad (44)$$

Pode-se observar que o total de cada material reciclável t será igual a $A_t + R_t$.

- Cálculo do nível de compostagem 1

Esta equação indica a quantidade a que devem ser reduzidos, através do processo de triagem / compostagem ($indice_3$), os resíduos coletados convencionalmente e transportados dos setores para o local de processamento. O valor encontrado (W) é igual à quantidade, em toneladas, de material resultante da compostagem através desse

processo. $\sum_{i=1}^n B_i - W$ deve ser igual à quantidade que será transferida do local de processamento para os aterros.

$$\sum_{i=1}^n B_i \times indice_3 = W \quad (45)$$

- Cálculo do nível de compostagem 2

Esta equação indica a quantidade a que devem ser reduzidos, através do processo de triagem / compostagem ($indice_3$), os resíduos coletados seletivamente e transportados dos setores para o local de processamento. O valor encontrado (WW) é igual à quantidade, em toneladas, de material resultante da compostagem através desse processo. $\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n Y_{ti} - WW$ deve ser igual à quantidade que será transferida do local de processamento para os aterros.

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n Y_{ti} \times indice_4 = WW \quad (46)$$

Verifica-se que o total de material proveniente da compostagem será igual a W + WW

- Cálculo da quantidade de resíduos enviada ao aterro sanitário

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^n X_i + \left[\sum_{i=1}^n B_i - \sum_{t=1}^T A_t \right] + \left[\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n Y_{ti} - \sum_{t=1}^T R_t \right] + \left[\sum_{i=1}^n B_i - W \right] + \\ & + \left[\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n Y_{ti} - WW \right] = QAT \end{aligned} \quad (47)$$

onde:

QAT é a quantidade de resíduos encaminhada ao aterro sanitário.

O modelo completo pode ser então representado por:

$$\begin{aligned} \min Z = & P_1 \sum_{i=1}^n dc_i^- + P_2 \sum_{i=1}^n dp_i^+ + P_3 wv_3 dv^- + P_3 wv'_3 dv^+ + P_4 da^- + \\ & + P_5 \sum_{i=1}^n do_i^+ + P_6 \sum_{i=1}^n dos_i^+ + P_7 \sum_{i=1}^n ds_i^- + P_8 wd_8 \sum_{i=1}^n dd_i^- + P_8 wd'_8 \sum_{i=1}^n dd_i^+ + \\ & + P_9 wpr_9 \sum_{i=1}^n dpr_i^+ + P_9 wpr'_9 \sum_{i=1}^n dpr_i^- \end{aligned} \quad (48)$$

sujeito a

$$X_i + dc_i^- - dc_i^+ = M1_i \quad \text{para todo } i \quad (49)$$

$$2 \times e_i \times v_i \times dias_i + dg \times 2 \times dias_i + \frac{X_i}{dens_i} + dp_i^- - dp_i^+ = M2_i \quad \text{para todo } i \quad (50)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n X_i}{\sum_{i=1}^n v_i \times dias_i \times cap} + dv^- - dv^+ = M3 \quad (51)$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n Y_{ti} + da^- - da^+ = M4 \quad (52)$$

ou

$$\sum_{i=1}^n B_i + da^- - da^+ = M4 \quad (53)$$

$$c_i + do_i^- - do_i^+ = M5_i \quad \text{para todo } i \quad (54)$$

$$m_i + dos_i^- - dos_i^+ = M6_i \quad \text{para todo } i \quad (55)$$

$$\sum_{t=1}^T Y_{ti} + ds_i^- - ds_i^+ = M7_i \quad \text{para todo } i \quad (56)$$

$$dens_i + dd_i^- - dd_i^+ = M8 \quad \text{para todo } i \quad (57)$$

$$X_i + dpr_i^- - dpr_i^+ = M9_i \quad \text{para todo } i \quad (58)$$

$$X_i + \sum_{t=1}^T Y_{ti} + B_i \leq g_i \quad \text{para todo } i \quad (59)$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n Y_{ti} \leq CAPAC \quad (60)$$

ou

$$\sum_{i=1}^n B_i \leq CAPAC \quad (61)$$

$$\sum_{i=1}^n B_i \times indice_{it} = A_t \quad \text{para todo } t \quad (62)$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n Y_{ti} \times indice_{2t} = R_t \quad \text{para todo } t \quad (63)$$

$$\sum_{i=1}^n B_i \times indice_3 = W \quad (64)$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n Y_{ti} \times indice_4 = WW \quad (65)$$

$$\sum_{i=1}^n X_i + \left[\sum_{i=1}^n B_i - \sum_{t=1}^T A_t \right] + \left[\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n Y_{ti} - \sum_{t=1}^T R_t \right] + \left[\sum_{i=1}^n B_i - W \right] + \left[\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n Y_{ti} - WW \right] = QAT \quad (66)$$

3.4 Aplicação do modelo

3.4.1 Caracterização do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no município de Piracicaba - SP

O modelo proposto foi aplicado à cidade de Piracicaba - SP. Os dados utilizados correspondem a situações reais ocorridas no período de janeiro de 1999 a outubro de 2000. Convém ressaltar que, para alguns dados, como por exemplo, quantidade de recicláveis coletada na cidade, não se tem informações para todo esse período.

O modelo não foi aplicado para um determinado mês. Conforme poderá ser constatado no decorrer desta seção, todos os valores utilizados são valores médios, não representando nenhum mês específico.

De acordo com o IBGE (2000), a população de Piracicaba é de 328.312 habitantes, dos quais 316.518 são residentes na área urbana. É localizada no interior do estado de São Paulo e tem uma área territorial de 1.368 km².

No período analisado, a coleta de resíduos sólidos urbanos em Piracicaba era feita por 10 veículos coletores com capacidade média de 8,5 toneladas cada um. Além desses 10 veículos, havia mais 2 que faziam parte da frota denominada “reserva técnica”.

Para fins de coleta de lixo, a cidade é dividida em 28 setores, numerados de 1 a 27 e, devido ao grande crescimento dos setores 16 e 17, criou-se um setor intermediário denominado setor 16/17 englobando partes de cada um deles. Tem-se ainda um outro setor que, na verdade, não existe fisicamente, denominado “setor 31” ou “setor de resgate”, cuja equipe é responsável pelo apoio em outros setores que necessitem auxílio ou é acionada em operações de emergência. Na aplicação do modelo, o “setor de resgate” não será considerado. Os setores podem ser visualizados no mapa apresentado à Figura 14, sendo a caracterização desses setores apresentada na Tabela 10.

Cada um desses 28 setores (1 a 27 e 16/17) tem uma geração mensal de lixo g_i . A Tabela 11 ilustra os dados de geração de lixo por setor, referentes aos meses de agosto e setembro de 2000.

Existem 16 equipes que trabalham na coleta e cada uma dessas equipes é composta por um motorista e 3 ou 4 coletores. Em quatro setores (1, 2, 3 e 16/17), a coleta é realizada por equipes de 3 coletores. Nos setores 1, 2 e 3 cada equipe é responsável por um deles. A equipe responsável pelo setor 16/17 é a mesma do “setor de resgate”. Como o “setor de resgate” não faz parte do modelo, consideram-se 3 ½ equipes de 3 coletores. Além disso, existem 24 setores onde a coleta é realizada por equipes com 4 coletores. Como, nesse caso, cada equipe é responsável por dois setores, consideram-se 12 equipes de 4 coletores. Em suma, em todas as simulações realizadas, são consideradas 3 ½ equipes de 3 coletores e 12 equipes de 4 coletores.

Para ser realizada a coleta convencional, são utilizados diferentes percursos (vide Anexo D) em cada um desses setores.

Além da coleta convencional, em Piracicaba existe também a coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos, encaminhados para o Centro de Reabilitação de Piracicaba. A coleta seletiva é do tipo “entrega voluntária” e, no período da pesquisa, a cidade contava com 130 pontos de coleta (41 condomínios, 7 empresas, 45 residências, 3 órgãos públicos, 6 *containers*, 18 estabelecimentos comerciais e 10 escolas). Dois caminhões cedidos pela Secretaria de Defesa do Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de Piracicaba realizam a coleta nesses 130 pontos da cidade. Na Tabela 12, têm-se dados mensais da coleta seletiva, por produto, entre 1999 e 2000.

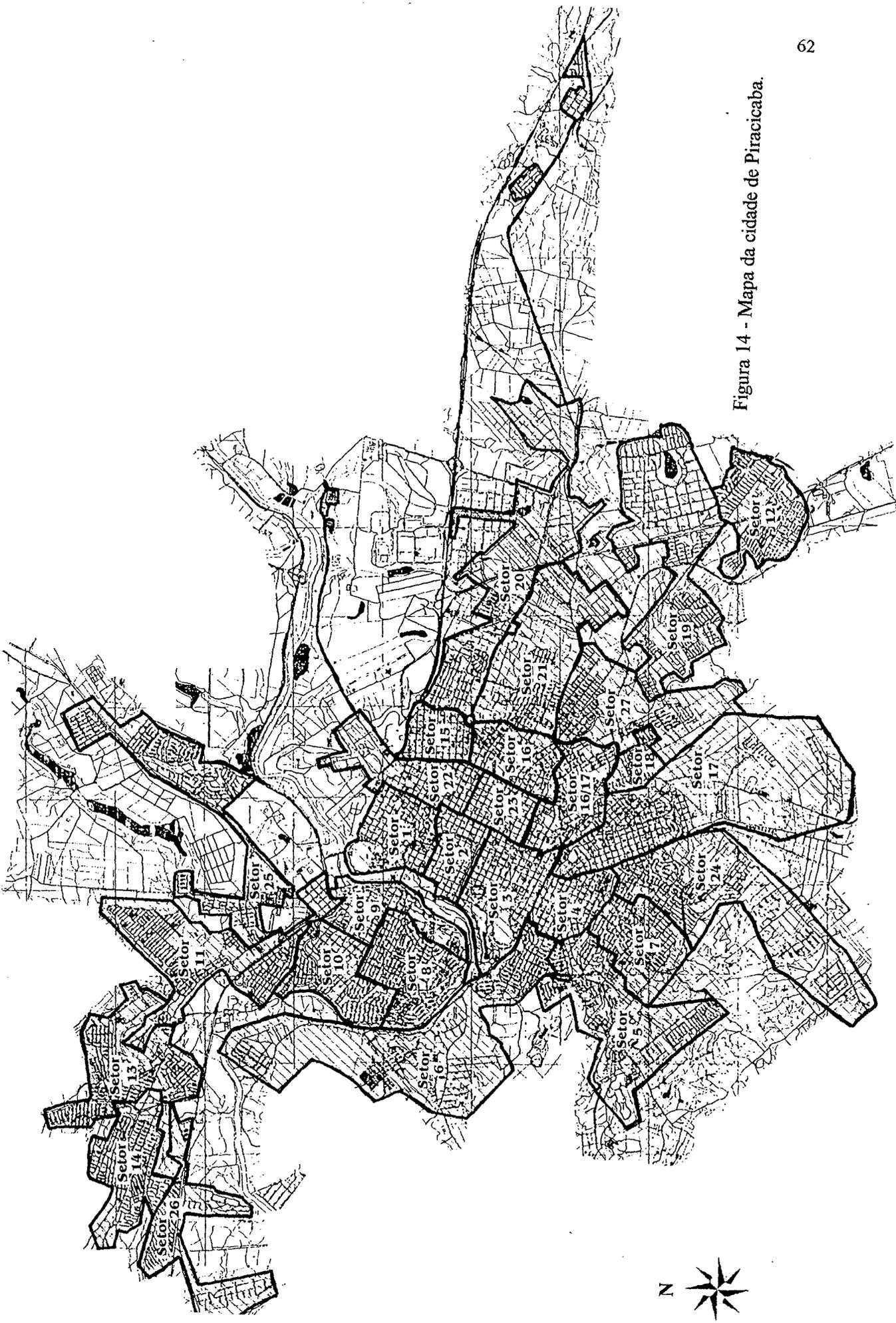


Figura 14 - Mapa da cidade de Piracicaba.

Tabela 10. Caracterização dos setores de coleta em Piracicaba - SP, 2000.

Setor	Frequência de coleta	Período	Número de Motoristas	Número de Coletores
1	Diária	Noturno	1	3
2	Diária	Noturno	1	3
3	Diária	Noturno	1	3
4	2 ^a , 4 ^a e 6 ^a	Diurno	1	4
5	2 ^a , 4 ^a e 6 ^a	Diurno	1	4
6	2 ^a , 4 ^a e 6 ^a	Diurno	1	4
7	2 ^a , 4 ^a e 6 ^a	Diurno	1	4
8	2 ^a , 4 ^a e 6 ^a	Noturno	1	4
9	2 ^a , 4 ^a e 6 ^a	Noturno	1	4
10	2 ^a , 4 ^a e 6 ^a	Noturno	1	4
11	2 ^a , 4 ^a e 6 ^a	Diurno	1	4
12	3 ^a , 5 ^a e Sáb.	Diurno	1	4
13	2 ^a , 4 ^a e 6 ^a	Diurno	1	4
14	3 ^a , 5 ^a e Sáb.	Diurno	1	4
15	3 ^a , 5 ^a e Sáb.	Noturno	1	4
16	3 ^a , 5 ^a e Sáb.	Noturno	1	4
16/17	3 ^a , 5 ^a e Sáb.	Noturno	1	3
17	3 ^a , 5 ^a e Sáb.	Noturno	1	4
18	3 ^a , 5 ^a e Sáb.	Diurno	1	4
19	3 ^a , 5 ^a e Sáb.	Diurno	1	4
20	3 ^a , 5 ^a e Sáb.	Diurno	1	4
21	3 ^a , 5 ^a e Sáb.	Diurno	1	4
22	3 ^a , 5 ^a e Sáb.	Diurno	1	4
23	3 ^a , 5 ^a e Sáb.	Noturno	1	4
24	2 ^a , 4 ^a e 6 ^a	Noturno	1	4
25	2 ^a , 4 ^a e 6 ^a	Diurno	1	4
26	2 ^a , 4 ^a e 6 ^a	Diurno	1	4
27	3 ^a , 5 ^a e Sáb.	Diurno	1	4
31	Resgate	Diurno	1	4

Fontes: Enob Ambiental (2000)³⁰ e Prefeitura Municipal de Piracicaba (2000).

³⁰ Empresa responsável pela coleta e destinação final do lixo em Piracicaba - SP, no período da coleta de dados para esta pesquisa.

Tabela 11. Quantidades coletadas de lixo observadas em Piracicaba - SP, por setores, referentes aos meses de agosto e setembro de 2000.

Setor	Geração de lixo em agosto de 2000 (em kg)	Geração de lixo em setembro de 2000 (em kg)
1	287.726,70	284.961,96
2	355.116,70	351.780,62
3	342.253,30	339.334,01
4	267.086,70	264.654,32
5	238.293,30	236.485,67
6	219.436,70	217.488,21
7	250.623,30	248.277,20
8	171.283,30	169.667,00
9	206.603,30	205.041,59
10	340.216,70	337.368,75
11	254.990,00	252.862,79
12	224.663,30	222.728,89
13	284.370,00	281.686,53
14	239.390,00	237.140,76
15	179.916,70	178.183,11
16	165.716,70	164.426,32
16/17	160.563,33	159.185,65
17	206.610,00	205.041,59
18	276.313,30	273.825,51
19	248.023,30	245.656,86
20	214.740,00	212.902,61
21	182.036,70	180.148,36
22	257.690,00	255.483,13
23	183.023,30	181.458,53
24	215.433,30	213.557,70
25	233.340,00	231.244,99
26	170.776,70	169.011,92
27	232.040,00	231.244,99

Fonte: Enob Ambiental (2000).

Tabela 12. Dados observados de quantidades coletadas seletivamente em Piracicaba - SP (em kg), por produto reciclável, entre 1999 e 2000.

Produtos	Jan/99	Fev/99	Mar/99	Abr/99	Mai/99	Jun/99	Jul/99	Ago/99	Set/99	Out/99	Nov/99	Dez/99	Jan/00	Fev/00	Mar/00	Abr/00	Mai/00	Jun/00	Jul/00	Ago/00	Set/00	Out/00
Vidro	8.833	2.410	8.762	6.712	7.154	11.170	5.630	7.228	13.834	12.205	0	2.352	12.858	4.890	10.600	10.200	1.850	8.370	18.600	17.920	8.490	19.010
Pet	2.100	2.680	0	3.510	3.660	5.180	11.207	6.354	6.662	3.560	6.290	5.508	6.360	5.677	1.760	5.570	4.701	4.450	6.430	0	5.440	7.986
Alumínio	588	260	345	172	187	312	0	556	410	282	252	180	301	244	180	351	363	0	1.155	413	662	1.122
Ferro	1.000	10	3.753	2.270	840	2.280	980	2.490	2.300	2.240	1.510	1.340	2.026	1.909	500	840	859	3.543	11.120	7.740	14.210	18.320
Papelão	8.490	8.030	10.406	12.670	5.102	9.610	4.754	9.862	6.116	3.952	4.936	7.204	2.970	3.316	0	8.234	7.086	7.880	7.430	27.890	15.580	42.945
Papel	3.320	4.850	4.206	6.704	12.371	7.772	6.980	16.778	12.580	11.160	12.310	10.000	15.360	6.010	10.590	9.988	9.170	3.960	20.427	30.792	31.210	8.192
Diversos	100	0	3.590	257	0	0	0	524	3.416	12.374	9.319	12.439	25.049	13.720	18.960	13.592	19.604	7.019	7.980	2.449	10.804	5.709
Total	24.431	18.240	31.062	32.295	29.314	36.324	29.551	43.792	45.318	45.773	34.617	39.023	64.924	35.766	42.590	48.775	43.633	35.222	73.142	87.204	86.396	103.284

Fonte: Centro de Reabilitação de Piracicaba (2000).

Os custos (referentes ao mês de outubro de 2000) relacionados ao processo de coleta seletiva e reciclagem são apresentados nas Tabelas 13 e 14.

Tabela 13. Custos de depreciação de bens de capital usados na atividade de coleta seletiva em Piracicaba - SP, outubro de 2000.

Equipamento	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)	Vida útil (meses)	Depreciação Mensal ³¹ (R\$)
Prensa	3	5.500,00	16.500,00	180	91,67
Baias	1	2.000,00	2.000,00	180	11,11
Balança (200 Kg)	1	180,00	180,00	180	1,00
Containers	50	60,00	3000,00	180	16,67
Total					120,45

Fonte: Centro de Reabilitação de Piracicaba (2000).

Tabela 14. Custos da mão-de-obra operacional e não-operacional na atividade de coleta seletiva em Piracicaba - SP, em outubro de 2000.

Funcionários	Quantidade	Salário mensal (R\$)	Encargos mensais (R\$)	Custo total mensal (R\$)
Operacional				
Ajudante	2	250,00	175,00	850,00
Separador	9	250,00	175,00	3.825,00
Total				4.675,00
Não-operacional				
Assistente Social	1	986,94	690,86	1.677,80
Auxiliar de Escritório	1	250,00	175,00	425,00
Coordenador	1	1.227,10	858,97	2.086,07
Encarregado	1	700,00	490,00	1.190,00
Total				5.378,87
Total geral				10.053,87

Fonte: Centro de Reabilitação de Piracicaba (2000).

De acordo com informações obtidas no Centro de Reabilitação de Piracicaba, existem ainda “outros custos operacionais”, relacionados à coleta seletiva (além dos R\$ 4.675,00 ilustrados na Tabela 14), que totalizam R\$ 8.371,89, fazendo com que o total

³¹ O cálculo da depreciação mensal foi realizado tomando-se o valor total do bem dividido por sua vida útil em meses.

dos custos operacionais atinja a cifra de R\$13.046,89. Somando-se tal valor aos custos não-operacionais (R\$ 5.378,87), chega-se a um total de R\$ 18.425,76. Em outubro de 2000, foi verificado um prejuízo de R\$ 3.494,52 na atividade de coleta seletiva.

As Tabelas 15 e 16 ilustram os dados de custos de coleta e disposição final do lixo no aterro. Em Piracicaba há quatro equipes com 3 coletores e 12 equipes com 4 coletores, perfazendo um custo de coleta convencional de R\$ 131.838,08 mensais.

Tabela 15. Custos de coleta de lixo, por equipe, em Piracicaba - SP, 2000.

Recurso utilizado	Custo unidade (R\$)	Custo por equipe com 3 coletores (R\$)	Custo por equipe com 4 coletores (R\$)
Caminhão + equipamento			
Depreciação	1.666,67 ³²	1.666,67	1.666,67
Combustível ³³	1.785,71	1.785,71	1.785,71
Peças	500,00	500,00	500,00
Mão-de-obra			
Motorista	1.100,00	1.100,00	1.100,00
Coletores	850,00	2.550,00	3.400,00
Total		7.602,38	8.452,38

Fonte: Enob Ambiental (2000).

3.4.2 Especificação dos dados que compõem o modelo

3.4.2.1 Primeira meta

Os dados disponíveis para determinação da primeira meta do modelo (quantidade a ser coletada por setor) são:

- quantidades coletadas de lixo em Piracicaba para os meses de agosto e setembro de 2000 por setor (vide Tabela 11);

³² Valor do caminhão, com o equipamento, é de R\$100.000,00, depreciado em 60 meses.

³³ Os gastos com combustível da Tabela 15 (R\$ 1.785,71) representam uma média dos gastos com combustível nos setores. Para a aplicação do modelo, o cálculo do valor do combustível gasto é realizado dividindo-se a quilometragem percorrida no setor por 1,5, que é a quilometragem percorrida por litro de óleo diesel consumido. O valor obtido, correspondente à quantidade de litros de óleo diesel consumidos, é então multiplicado por R\$ 0,803, que corresponde ao valor médio do litro de óleo diesel nas capitais brasileiras, em novembro de 2000 (Diário Oficial da União, 2000). Tem-se então o gasto com combustível, por setor, de acordo com a quilometragem percorrida pelo veículo coletor.

Tabela 16. Custos mensais de disposição final no aterro sanitário em Piracicaba - SP, 2000.

Recurso utilizado	Unidade	Quantidade (mensal)	Custo/unidade (em R\$)	Custo total mensal (em R\$)
Caminhão + Equipamento ³⁴				
Máquina de esteira	Hora	400	37,00	14.800,00
Pá carregadeira ³⁵	Hora	200	26,00	5.200,00
Caminhões	Hora	400	20,00	8.000,00
Retroescavadeira	Hora	200	20,00	4.000,00
Diesel				1.785,71
Mão de obra				
Motorista	Pessoa	1	1.100,00	1.100,00
Pedreiros	Pessoa	2	850,00	1.700,00
Ajudante	Pessoa	1	850,00	850,00
Total				37.435,71
Custo por tonelada aterrada no mês de setembro de 2000				5,71

Fonte: Enob Ambiental (2000).

- quantidades agregadas mensais de coleta de resíduos sólidos urbanos em Piracicaba, de janeiro de 1989 a dezembro de 1999 (vide Anexo E)³⁶.

De posse desses dados, foram consideradas três alternativas para determinar os valores dessa meta. Na primeira alternativa caberia escolher um dos dois meses para os quais já se obtiveram os dados de quantidades coletadas por setor (agosto ou setembro de 2000). Na segunda, caberia realizar uma média da quantidade coletada nos meses de agosto e setembro de 2000, enquanto na terceira, utilizar-se-iam os dados por setor de agosto e setembro de 2000 conjuntamente com os dados agregados mensais de 1989 a 1999, calculando-se um valor médio mensal. Dessa maneira, a sazonalidade da geração de resíduos durante todo o ano estaria sendo incluída, o que fez com que esta última alternativa fosse considerada como a mais adequada para um modelo genérico.

Para a realização desse cálculo, tomaram-se os dados anuais de coleta de resíduos sólidos urbanos em Piracicaba de 1989 a 1999 (vide Anexo E). Com base nesses dados, calculou-se a média mensal de geração de resíduos em cada ano (total

³⁴ O custo dos equipamentos utilizados no aterro sanitário inclui o valor da mão-de-obra necessária.

³⁵ Apenas este equipamento não tem a mão-de-obra do motorista incluída no valor pago por hora de uso. O valor do salário do motorista está descrito em seguida, na mesma Tabela.

³⁶ Dados obtidos na Prefeitura Municipal de Piracicaba, em outubro de 2000.

anual de cada ano/12). Por fim, de posse dos dados históricos observados de coleta mensal desses 11 anos, foi feita uma comparação mês a mês em cada ano para verificar a variação do total observado em relação à média mensal calculada (vide Anexo F). Após obtidas todas as variações mensais para os 11 anos, calculou-se a média dessas variações para cada mês ($\sum_{i=1}^{11}$ variação percentual em relação à média de cada mês / 11), resultado que pode ser visualizado na Tabela 17.

Tabela 17. Variação da quantidade coletada de lixo em Piracicaba - SP, em relação à média, para todos os meses do ano.

Meses	Variação percentual média de 1989 a 1999 em relação à média mensal coletada.
Janeiro	3,051787990
Fevereiro	-7,812768494
Março	0,362266230
Abril	-5,103515425
Maiο	-2,061309851
Junho	-3,410540040
Julho	1,592734591
Agosto	3,110276108
Setembro	-0,428611249
Outubro	1,539540793
Novembro	-1,244056077
Dezembro	10,404195520

Fonte: Dados da pesquisa.

De acordo com a Tabela 17, percebe-se que no mês de janeiro, a quantidade coletada de lixo é, aproximadamente, 3,05% superior à média mensal coletada. Por outro lado, pode-se perceber que, em junho, a quantidade coletada é em torno de 3,41% inferior à média.

É necessário calcular agora o valor médio mensal a ser coletado por setor. Para se realizar esse cálculo, tomaram-se os dados disponíveis do mês de setembro de 2000 (terceira coluna da Tabela 11) e o dado referente a setembro da Tabela 17. Percebe-se, por meio da Tabela 17, que setembro é um mês cuja geração é -0,428611249% menor que a média. Consultando a terceira coluna da Tabela 11, percebe-se que, para o setor 1,

por exemplo, o valor encontrado é de 284.961,96 kg. Para encontrar o valor médio mensal a ser coletado no setor 1, considerou-se que o valor de 284.961,96 kg corresponde à 99,571388751% (100%-0,428611249%). Logo, o valor médio (correspondente a 100%) é de 286.188,60 kg. Realizando o mesmo raciocínio para os demais setores, obtêm-se os valores descritos na Tabela 18.

Para mostrar a eficiência da metodologia de cálculo, serão utilizados os valores observados por setor para agosto de 2000 (segunda coluna da Tabela 11), os valores médios mensais estimados (Tabela 18) e o dado referente a agosto, da Tabela 17. De acordo com a Tabela 17, observa-se que no mês de agosto a geração de lixo é 3,110276108% superior à média. Considerando-se novamente o setor 1 como exemplo, conforme Tabela 18, o valor médio para tal setor é de 286.188,60 kg, correspondente a 100%. Para agosto, o valor deverá ser de 103,110276108% (100%+3,110276108%), correspondendo a 295.089,86 kg. Realizando o mesmo procedimento para os demais setores, obtêm-se os valores mostrados na Tabela 19.

A Tabela 20 compara os valores calculados para agosto com base no valor médio encontrado (Tabela 18) com os valores observados para o mês de agosto (segunda coluna da Tabela 11).

Observando a última coluna da Tabela 20, verifica-se que as diferenças entre os valores observados e calculados para agosto de 2000 não foram significativas. Portanto, considerou-se a metodologia utilizada para estimar a geração em cada mês do ano 2000 como eficiente. Essa estimativa foi realizada para todos os meses do ano (Anexo G).

Ainda para comprovar a qualidade dos dados calculados, será realizada outra comparação. Somando-se os dados médios calculados para cada setor (Tabela 18), observa-se que, na cidade de Piracicaba - SP, com 316.518 pessoas residentes na área urbana, são coletados, em média, por mês, 6.579.048,08 kg. Sendo assim, a taxa de geração *per capita* de resíduos sólidos por dia, obtida a partir dos cálculos realizados, considerando-se um mês de 30 dias, é de 0,69 kg/hab/dia.

Tabela 18. Valores médios mensais estimados de geração de lixo por setor, em Piracicaba - SP.

Setor	Geração de lixo (em kg)
1	286.188,60
2	353.294,88
3	340.794,69
4	265.793,54
5	237.503,64
6	218.424,40
7	249.345,92
8	170.397,34
9	205.924,20
10	338.820,97
11	253.951,25
12	223.687,64
13	282.899,07
14	238.161,55
15	178.950,11
16	165.134,10
16/17	159.870,87
17	205.924,20
18	275.004,21
19	246.714,31
20	213.819,06
21	180.923,82
22	256.582,87
23	182.239,63
24	214.476,97
25	232.240,40
26	169.739,44
27	232.240,40

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 19. Valores estimados de geração de lixo, em Piracicaba - SP, em agosto de 2000.

Setor	Valores calculados para ago/2000 (kg)
1	295.089,85
2	364.283,33
3	351.394,35
4	274.060,45
5	244.890,66
6	225.218,00
7	257.101,27
8	175.697,17
9	212.329,02
10	349.359,24
11	261.849,84
12	230.644,94
13	291.698,01
14	245.569,03
15	184.515,95
16	170.270,23
16/17	164.843,30
17	212.329,02
18	283.557,60
19	254.387,80
20	220.469,43
21	186.551,05
22	264.563,31
23	187.907,79
24	221.147,80
25	239.463,72
26	175.018,81
27	239.463,72

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 20. Valores de geração de lixo (kg) observados, calculados e variação percentual para o mês de agosto de 2000, em Piracicaba - SP.

Setor	Valores observados em ago/2000 (kg)	Valores calculados para ago/2000 (kg)	Varição (%)
1	287.726,70	295.089,85	2,56
2	355.116,70	364.283,33	2,58
3	342.253,30	351.394,35	2,67
4	267.086,70	274.060,45	2,61
5	238.293,30	244.890,66	2,77
6	219.436,70	225.218,00	2,63
7	250.623,30	257.101,27	2,58
8	171.283,30	175.697,17	2,58
9	206.603,30	212.329,02	2,77
10	340.216,70	349.359,24	2,69
11	254.990,00	261.849,84	2,69
12	224.663,30	230.644,94	2,66
13	284.370,00	291.698,01	2,58
14	239.390,00	245.569,03	2,58
15	179.916,70	184.515,95	1,03
16	165.716,70	170.270,23	1,03
16/17	160.563,33	164.843,30	1,03
17	206.610,00	212.329,02	1,03
18	276.313,30	283.557,60	1,03
19	248.023,30	254.387,80	1,03
20	214.740,00	220.469,43	1,03
21	182.036,70	186.551,05	1,02
22	257.690,00	264.563,31	1,03
23	183.023,30	187.907,79	1,03
24	215.433,30	221.147,80	1,03
25	233.340,00	239.463,72	1,03
26	170.776,70	175.018,81	1,02
27	232.040,00	239.463,72	1,03

Fonte: Dados da pesquisa.

A Tabela 21 apresenta o resultado do “Programa de Gerenciamento de resíduos Sólidos domiciliares e de serviços de saúde - Prolixo” realizado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, em 1992. Nesse trabalho, foi

estimada a geração de lixo por habitante, através de pesquisas em diversos municípios do Estado de São Paulo.

Tabela 21. Geração média de resíduos por habitante por dia.

Número de habitantes	Geração média <i>per capita</i>
Até 100.000 habitantes	0,4 kg/hab/dia
De 100.001 a 500.000 habitantes	0,5 kg/hab/dia
De 500.001 a 1.000.000 habitantes	0,6 kg/hab/dia
Mais de 1.000.000 habitantes	0,7 kg/hab/dia

Fonte: <http://www.mct.gov.br/clima>³⁷

Portanto, para Piracicaba, de acordo com a Tabela 21, estaria associada uma taxa de 0,5 kg/hab/dia, valor muito próximo de 0,69 kg/hab/dia, encontrado através dos cálculos realizados.

Além disso, o valor de 0,69 kg/hab/dia situa-se dentro da média brasileira citada na literatura por Caixeta Filho (1999), que é de 0,5 a 1,0 kg/hab/dia.

Como será abordado posteriormente, a meta de quantidade a ser coletada seletivamente é de 15,2% do lixo total produzido. Sendo assim, os valores numéricos da primeira meta do modelo corresponderão aos valores da Tabela 18 diminuídos de 15,2%, dados que podem ser vistos na Tabela 22.

A metodologia para se calcular o valor da primeira meta pode ser definida de acordo com a estratégia adotada. Existem formas alternativas para se calcular essa meta. Ela pode ser determinada, por exemplo, através de uma estimativa de geração de resíduos *per capita* em cada cidade, multiplicada pelo valor da população. Pode-se aprimorar essa meta considerando-se diferentes taxas de geração *per capita* de resíduos, dependendo do nível de renda ou modo de vida da população de cada setor. Além disso, existem outros fatores, tais como época do ano, fins de semana, dias festivos, movimento da população durante os períodos de férias e novos métodos de acondicionamento de mercadorias, que podem ser considerados.

³⁷ O Ministério da Ciência e Tecnologia do Brasil pesquisou diversos índices de geração *per capita* que utilizam metodologias de cálculo distintas e após a realização de comparações entre eles, concluiu que o índice da CETESB foi o mais próximo da realidade brasileira (Brasil, 2001).

Tabela 22. Valores numéricos da primeira meta do modelo - quantidades mensais a serem coletadas convencionalmente, por setor, em Piracicaba - SP.

Sector	Geração de lixo (em kg)
1	242.687,93
2	299.594,06
3	288.993,90
4	225.392,92
5	201.403,08
6	185.223,89
7	211.445,34
8	144.496,95
9	174.623,73
10	287.320,19
11	215.350,66
12	189.687,12
13	239.898,41
14	201.960,99
15	151.749,69
16	140.033,72
16/17	135.570,50
17	174.623,73
18	233.203,57
19	209.213,73
20	181.318,57
21	153.423,40
22	217.582,28
23	154.539,21
24	181.876,47
25	196.939,86
26	143.939,05
27	196.939,86
Total	5.579.032,80

Fonte: Dados da pesquisa.

3.4.2.2 Segunda meta

Utilizando a ferramenta computacional AutoCad, mediu-se o comprimento total do conjunto de vias pertencentes a cada setor, obtendo-se os valores apresentados na Tabela 23, onde ainda se pode visualizar a distância média de cada setor ao aterro sanitário. Os mapas de cada setor podem ser visualizados no Anexo H.

Tabela 23. Perímetro dos setores de coleta e distâncias médias dos setores ao aterro sanitário, em Piracicaba - SP, 2000.

Setor	Comprimento total das vias	Distância do setor ao aterro (em km)
1	30,24	11,20
2	19,31	8,60
3	33,20	7,40
4	22,01	7,70
5	50,19	11,00
6	55,24	10,30
7	29,24	3,70
8	41,95	12,00
9	23,11	11,00
10	35,65	11,50
11	59,36	14,00
12	44,15	14,00
13	44,67	14,30
14	34,47	13,00
15	18,71	15,00
16	24,00	11,00
16/17	33,21	9,00
17	66,42	10,00
18	9,49	8,70
19	62,38	9,30
20	68,87	10,70
21	35,31	23,30
22	31,59	10,30
23	13,78	11,50
24	50,76	10,00
25	51,47	4,50
26	26,42	14,50
27	34,39	18,00

Fonte: Dados da pesquisa.

A Tabela 24 mostra os valores associados à segunda meta do modelo.

Tabela 24. Valores numéricos da segunda meta do modelo - quilometragem mensal a ser percorrida na coleta convencional, por setor, em Piracicaba - SP.

Setor	Quilometragem mensal percorrida sem o fator de correção	Quilometragem mensal percorrida com o fator de correção de 40%
1	2.350,40	3.290,56
2	1.775,54	2.485,76
3	2.002,52	2.803,53
4	962,65	1.347,71
5	1.552,07	2.172,90
6	1.570,40	2.198,56
7	786,24	1.100,74
8	1.512,55	2.117,57
9	1.200,03	1.680,04
10	1.396,85	1.955,59
11	1.874,08	2.623,71
12	1.676,35	2.346,89
13	1.703,39	2.384,75
14	1.482,91	2.076,07
15	1.413,23	1.978,52
16	1.211,60	1.696,24
16/17	1.196,13	1.674,58
17	1.695,46	2.373,64
18	867,49	1.214,49
19	1.595,62	2.233,87
20	1.774,63	2.484,48
21	2.190,11	3.066,15
22	1.262,95	1.768,13
23	1.112,54	1.557,56
24	1.491,88	2.088,63
25	1.129,31	1.581,03
26	1.479,66	2.071,52
27	1.819,87	2.547,82

Fonte: Dados da pesquisa.

Tais valores foram encontrados por meio da equação (67):

$$[(v_i \times 2 \times e_i \times dias_i) + (2 \times dias_i \times dg) + (km_i \times dias_i)] \times 1,40 \quad \text{para todo } i \quad (67)$$

onde:

v_i é a frequência diária de viagens realizadas de cada setor (i) ao aterro sanitário (2,15 viagens para os setores de coleta diária e 2,6 viagens para os setores de coleta em dias alternados);

e_i é a distância de cada setor i ao aterro sanitário, dada na terceira coluna da Tabela 23;

dg é a distância do aterro sanitário à garagem (6 km);

km_i é o comprimento total das vias de cada setor i , dado na segunda coluna da Tabela 23.

O primeiro termo da equação (67) - $v_i \times 2 \times e_i \times dias_i$ - corresponde à distância percorrida do aterro sanitário a cada um dos setores durante um mês de coleta. O segundo termo da equação - $2 \times dias_i \times dg$ - representa a distância mensal percorrida da garagem ao aterro sanitário. A multiplicação por 2 nesse termo é realizada, pois geralmente, o aterro sanitário situa-se entre a garagem e os setores de coleta. Desta maneira, o caminhão sairia no início do dia para iniciar a coleta, passaria pelo local do aterro sanitário e se dirigiria para os setores de coleta. Ao final do serviço, o lixo coletado na última viagem seria depositado no aterro de onde o veículo coletor seguiria para a garagem. O terceiro termo da equação (67) - $km_i \times dias_i$ - indica a quilometragem percorrida durante um mês de coleta dentro de cada setor.

Essa equação é multiplicada por 1,40 pois está sendo considerado um fator de correção de 40% para a quilometragem a ser percorrida. O fator de correção se justifica, pois normalmente, não se consegue percorrer apenas a distância correspondente ao perímetro, devido a ruas sem saída ou às mãos de direção de algumas vias. De acordo com Aguiar (1993), tendo em vista que a equipe de coleta quer terminar a tarefa o mais rapidamente possível, é provável que a rota não apresente um nível elevado de

repetição de passagem em ruas já servidas. Entretanto, nota-se que o uso de um programa de otimização de rotas apresenta uma porcentagem de repetição em torno de 40%.

Deluqui (1998) realizou uma pesquisa para otimizar as rotas de coleta em São Carlos - SP utilizando o software TransCAD e obteve valores de repetição que variaram de 17,23% a 36,54%.

É importante destacar a diferença entre as equações (23) e (67). A equação (23) compõe o modelo matemático, representado a meta de quilometragem a ser atingida (2ª meta). A equação (67) é utilizada para determinar o valor numérico da 2ª meta. Apesar de existirem semelhanças entre as duas equações, na equação (67) todos os termos devem ser conhecidos, pois eles serão utilizados para se determinar o valor da meta. Por outro lado, na equação (23) nem todos os termos são conhecidos. X_i e $dens_i$ são variáveis do modelo e seus valores só serão determinados quando o modelo for rodado.

Alternativamente, pode-se determinar essa meta seguindo-se outros critérios, como por exemplo, trabalhando com os valores fornecidos por algum software de roteirização ao invés de se utilizar o valor do comprimento total de todas as vias do setor acrescido do fator de correção.

3.4.2.3 Terceira meta

Determina-se como meta de número de veículos a serem utilizados, aquilo que diz respeito ao tamanho da frota menos a reserva técnica, ou seja, 10 veículos, não devendo haver sub ou superutilização dos mesmos. No modelo teórico, a superutilização terá um peso maior que a subutilização, pois caso a empresa responsável pela coleta necessite de mais veículos do que dispõe, ela deverá alugar ou até mesmo adquirir novos veículos para conseguir realizar a coleta de maneira apropriada.

A expressão (68) é a representação matemática dessa meta:

$$\frac{\sum_{i=1}^n X_i}{\sum_{i=1}^n v_i \times dias_i \times cap} + dv^- - dv^+ = M3 \quad (68)$$

Em cada dia da semana, 10 veículos estarão disponíveis para a realização da coleta. Em Piracicaba, nas 2^{as} feiras, por exemplo, são realizadas as rotas da coleta convencional diária e as rotas dos dias alternados pares. Nas 3^{as} feiras são realizadas as rotas da coleta convencional diária e as rotas dos dias alternados ímpares. Em cada um desses dias, 10 veículos deverão ser suficientes para a conclusão do serviço.

Portanto, nota-se que deverão existir duas equações para essa meta. Em Piracicaba, existe coleta convencional diária, em dias alternados pares (2^{as}, 4^{as} e 6^{as}) e em dias alternados ímpares (3^{as}, 5^{as} e sábados). Desta maneira, a primeira equação compreenderá os setores da coleta diária (setores 1, 2 e 3) e das 2^{as}, 4^{as} e 6^{as} feiras (setores 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 24, 25 e 26), bem como o número de viagens realizadas diariamente nos setores em questão e o número de dias (em um mês) em que a coleta é realizada. Assim, será obtido o número de veículos necessários para a realização das rotas da coleta diária, das 2^{as}, 4^{as} e 6^{as} feiras. A segunda equação compreenderá os setores de coleta diária (setores 1, 2 e 3) e os setores de coleta nas 3^{as}, 5^{as} e sábados (setores 12, 14, 15, 16, 16/17, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 27), bem como o número de viagens realizadas diariamente nos setores em questão e o número de dias (em um mês) em que é realizada a coleta. Sendo assim, será obtido o número de veículos necessários para a realização das rotas de coleta diária, das 3^{as}, 5^{as} e sábados. Em cada uma das equações, o valor de $M3$ deverá ser igual a 10, que é o número de veículos disponíveis diariamente para a realização da coleta convencional.

Na aplicação do modelo não foram atribuídos pesos diferentes para a superutilização e subutilização da frota, porém atribuíram-se prioridades diferentes a cada um desses itens.

A meta relacionada a veículos dependerá da estratégia relacionada à composição da frota. Pode-se determinar novos valores de meta de acordo com o tipo de

veículo coletor utilizado e sua respectiva capacidade. Além disso, pode-se trabalhar com veículos de diferentes tipos ou capacidade nos diferentes setores. Por exemplo, em um setor que gera uma quantidade menor de lixo, pode-se utilizar um veículo comum ou um compactador de baixa capacidade, enquanto nos setores de alta geração seriam necessários veículos compactadores de alta capacidade.

3.4.2.4 Quarta meta

Na cidade de Piracicaba não há usina de triagem e reciclagem. Portanto, o modelo será utilizado excluindo-se a quarta meta que se refere a quantidades a serem encaminhadas à usina de triagem e reciclagem.

3.4.2.5 Quinta e sexta metas

Em relação à meta de orçamento, os valores pagos pela Prefeitura do município de Piracicaba para a coleta convencional³⁸, disposição final do lixo³⁹ e coleta seletiva⁴⁰ são aqueles mostrados na Tabela 25. A quinta meta refere-se ao orçamento destinado à coleta convencional e a sexta meta, ao orçamento destinado à coleta seletiva. Sendo assim, admitindo-se que sejam coletados e aterrados 5.579.032,80 kg convencionalmente e que 1.000.015,31 kg sejam coletados seletivamente por mês na cidade, a meta orçamentária operacional da empresa deverá ser de R\$ 174.344,78 para a coleta convencional (incluindo aterro) e R\$ 41.000,63 para a coleta seletiva. Os orçamentos para a coleta convencional (quinta meta) e coleta seletiva (sexta meta), por setor, podem ser visualizados na Tabela 26.

³⁸ O custo da coleta convencional corresponde ao custo de coletar e transferir o lixo dos setores para o aterro. Esse custo engloba o salário dos motoristas e coletores, a depreciação dos equipamentos utilizados na coleta, as peças de reposição utilizadas e os gastos com combustível.

³⁹ Os custos de disposição no aterro englobam o custo de operação dos equipamentos, os salários dos motoristas e ajudantes e os gastos com combustível.

⁴⁰ Em Piracicaba - SP, o custo da coleta seletiva engloba os custos de depreciação dos equipamentos utilizados no processamento dos materiais e os salários dos funcionários envolvidos na coleta seletiva. É importante ressaltar que, na coleta seletiva, não serão considerados os custos de coleta e transferência dos produtos recicláveis ao local de processamento. Só serão considerados os custos relacionados ao processamento dos produtos.

Tabela 25. Valores pagos pela Prefeitura Municipal de Piracicaba para cada tipo de serviço, 2000.

Serviço	Valor pago (em R\$)
Tonelada coletada convencionalmente	22,00
Tonelada aterrada	9,25
Tonelada coletada seletivamente ⁴¹	41,00

Fonte: Prefeitura Municipal de Piracicaba (2000).

Tabela 26. Valores numéricos da quinta e sexta metas - orçamento mensal, por setor, para a coleta convencional e seletiva em Piracicaba - SP, 2000.

Setor	Meta orçamentária da coleta convencional (R\$)	Meta orçamentária da coleta seletiva (R\$)
1	7.584,00	1.783,53
2	9.362,31	2.201,73
3	9.031,06	2.123,83
4	7.043,53	1.656,43
5	6.293,85	1.480,12
6	5.788,25	1.361,22
7	6.607,67	1.553,92
8	4.515,53	1.061,92
9	5.456,99	1.283,32
10	8.978,76	2.111,53
11	6.729,71	1.582,62
12	5.927,72	1.394,02
13	7.496,83	1.763,03
14	6.311,28	1.484,22
15	4.742,18	1.115,22
16	4.376,05	1.029,12
16/17	4.236,58	996,32
17	5.456,99	1.283,32
18	7.287,61	1.713,83
19	6.537,93	1.537,52
20	5.666,21	1.332,52
21	4.794,48	1.127,52
22	6.799,45	1.599,02
23	4.829,35	1.135,72
24	5.683,64	1.336,62
25	6.154,37	1.447,32
26	4.498,10	1.057,82
27	6.154,37	1.447,32
Total	174.344,78	41.000,63

Fonte: Dados da pesquisa.

⁴¹ Este valor é o valor da licitação de 2001 da Prefeitura Municipal de Piracicaba.

O cálculo dessas metas dependerá dos custos envolvidos, que poderão variar em função da estratégia que vier a ser adotada.

3.4.2.6 Sétima meta

A sétima meta se relaciona à quantidade mínima a ser coletada de cada produto reciclável e está sendo imposta pela Prefeitura Municipal de Piracicaba para 2001. A meta da coleta seletiva deverá alcançar um nível de 15,2% do lixo total produzido, o que corresponde a, aproximadamente, 1.000 toneladas por mês. Deve-se ressaltar que, em outubro de 2.000, a quantidade coletada seletivamente em Piracicaba foi cerca de 10% do valor desse patamar estabelecido pela Prefeitura para o ano de 2001. Para se chegar aos valores numéricos para essa meta, primeiramente foram obtidos os valores a serem coletados seletivamente por setor, sem distinguir os produtos. Esses valores correspondem a 15,2% da geração total estimada de lixo (Tabela 18) e estão apresentados na Tabela 27.

Tomando os dados reais referentes à coleta seletiva (Tabela 12) para o cálculo dos percentuais de cada produto reciclável, obtêm-se os valores mostrados na Tabela 28.

A expressão que representa a sétima meta é:

$$\sum_{t=1}^7 Y_{it} + ds_i^- - ds_i^+ = M7_i \quad (69)$$

Em Piracicaba t varia de 1 a 7, sendo $t=1$ =vidro, $t=2$ =pet, $t=3$ =alumínio, $t=4$ =ferro, $t=5$ =papelão, $t=6$ =papel, $t=7$ =diversos).

Tabela 27. Quantidades a serem coletadas seletivamente, por setor, em Piracicaba - SP, 2000.

Setor	Geração de lixo (em kg)
1	43.500,67
2	53.700,82
3	51.800,79
4	40.400,62
5	36.100,55
6	33.200,51
7	37.900,58
8	25.900,40
9	31.300,48
10	51.500,79
11	38.600,59
12	34.000,52
13	43.000,66
14	36.200,56
15	27.200,42
16	25.100,38
16/17	24.300,37
17	31.300,48
18	41.800,64
19	37.500,57
20	32.500,50
21	27.500,42
22	39.000,60
23	27.700,42
24	32.600,50
25	35.300,54
26	25.800,40
27	35.300,54
Total	1.000.015,31

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 28. Participações percentuais observadas por produto reciclável, coletado seletivamente em Piracicaba - SP, entre 1999 e 2000.

Produtos	Jan/99	Fev/99	Mar/99	Abr/99	Mai/99	Jun/99	Jul/99	Ago/99	Set/99	Out/99	Nov/99	Dez/99	Jan/00	Fev/00	Mar/00	Abr/00	Mai/00	Jun/00	Jul/00	Ago/00	Set/00	Out/00
Vidro	36,15	13,21	28,21	20,78	24,40	30,75	19,05	16,51	30,53	26,66	0,00	6,03	19,80	13,67	24,89	20,91	4,24	23,76	25,43	20,55	9,83	18,41
Pet	8,60	14,69	0,00	10,87	12,49	14,26	37,92	14,51	14,70	7,78	18,17	14,11	9,80	15,87	4,13	11,42	10,77	12,63	8,79	0,00	6,30	7,73
Alumínio	2,41	1,43	1,11	0,53	0,64	0,86	0,00	1,27	0,90	0,62	0,73	0,46	0,46	0,68	0,42	0,72	0,83	0,00	1,58	0,47	0,77	1,09
Ferro	4,09	0,05	12,08	7,03	2,87	6,28	3,32	5,69	5,08	4,89	4,36	3,43	3,12	5,34	1,17	1,72	1,97	10,06	15,20	8,88	16,45	17,74
Papelão	34,75	44,02	33,50	39,23	17,40	26,46	16,09	22,52	13,50	8,63	14,26	18,46	4,57	9,27	0,00	16,88	16,24	22,37	10,16	31,98	18,03	41,58
Papel	13,59	26,59	13,54	20,76	42,20	21,40	23,62	38,31	27,76	24,38	35,56	25,63	23,66	16,80	24,86	20,48	21,02	11,24	27,93	35,31	36,12	7,93
Diversos	0,41	0,00	11,56	0,80	0,00	0,00	0,00	1,20	7,54	27,03	26,92	31,88	38,58	38,36	44,52	27,87	44,93	19,93	10,91	2,81	12,51	5,53
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: Dados da pesquisa.

Considerando-se os dados dos 22 meses disponíveis, que abrangem dois anos, obtiveram-se os percentuais médios para cada produto, que estão apresentados à Tabela 29.

Tabela 29. Composição dos resíduos sólidos recicláveis em Piracicaba - SP.

Material	%
Vidro	19,7174
Pet	11,6159
Alumínio	0,8172
Ferro	6,4007
Papelão	20,9054
Papel	24,4861
Diversos	16,0574
Total	100,0000

Fonte: Dados da pesquisa.

Utilizando-se dos percentuais da Tabela 29, foram estabelecidas as metas de quantidades coletadas seletivamente na cidade por setor, conforme mostra a Tabela 30.

Em Piracicaba - SP, os resíduos coletados seletivamente são encaminhados ao Centro de Reabilitação de Piracicaba, que emprega pessoas portadoras de deficiência física e mental para trabalharem no processo de triagem/segregação e processamento dos materiais coletados para a reciclagem.

3.4.2.7 Oitava e nona metas

Trabalhando-se os dados referentes ao percurso (vide Anexo I), tem-se que a densidade média de todos os setores é de 195,15 kg/km. Assim sendo, a oitava meta do modelo estabelece que cada equipe de trabalho deve, em média, coletar 195,15 quilogramas de lixo por quilômetro percorrido. A manutenção desse valor médio indicará que as equipes de trabalho estarão tendo, em média, cargas de trabalho semelhantes.

Tabela 30. Valores numéricos da sétima meta do modelo - quantidades mensais (em kg) a serem coletadas seletivamente, por setor e por produto reciclável, em Piracicaba - SP, 2000.

Setor		Setor 1	Setor 2	Setor 3	Setor 4	Setor 5	Setor 6	Setor 7
Material								
Vidro		8.577,20	10.588,41	10.213,77	7.965,95	7.118,09	6.546,28	7.473,01
Pet		5.052,98	6.237,81	6.017,11	4.692,88	4.193,39	3.856,52	4.402,48
Alumínio		355,47	438,82	423,29	330,13	295,00	271,30	309,71
Ferro		2.784,33	3.437,21	3.315,60	2.585,91	2.310,68	2.125,06	2.425,89
Papelão		9.094,00	11.226,39	10.829,18	8.445,92	7.546,97	6.940,71	7.923,28
Papel		10.651,63	13.149,25	12.684,01	9.892,54	8.839,63	8.129,52	9.280,38
Diversos		6.985,06	8.622,94	8.317,84	6.487,28	5.796,80	5.331,13	6.085,83
Total		43.500,67	53.700,82	51.800,79	40.400,62	36.100,55	33.200,51	37.900,58
Setor		Setor 8	Setor 9	Setor 10	Setor 11	Setor 12	Setor 13	Setor 14
Material								
Vidro		5.106,89	6.171,64	10.154,62	7.611,04	6.704,02	8.478,61	7.137,81
Pet		3.008,55	3.635,82	5.982,26	4.483,79	3.949,45	4.994,90	4.205,00
Alumínio		211,65	255,77	420,84	315,43	277,84	351,38	295,81
Ferro		1.657,80	2.003,44	3.296,40	2.470,70	2.176,26	2.752,33	2.317,08
Papelão		5.414,59	6.543,50	10.766,46	8.069,62	7.107,95	8.989,47	7.567,88
Papel		6.342,00	7.664,27	12.610,55	9.451,79	8.325,41	10.529,19	8.864,11
Diversos		4.158,92	5.026,03	8.269,67	6.198,24	5.459,59	6.904,77	5.812,86
Total		25.900,40	31.300,48	51.500,79	38.600,59	34.000,52	43.000,66	36.200,56

Tabela 30. Valores numéricos da sétima meta do modelo - quantidades mensais (em kg) a serem coletadas seletivamente, por setor e por produto reciclável, em Piracicaba - SP, 2000.

Setor		Setor 15	Setor 16	Setor 16/17	Setor 17	Setor 18	Setor 19	Setor 20
Material								
Vidro		5.363,22	4.949,14	4.791,40	6.171,64	8.242,00	7.394,14	6.408,26
Pet		3.159,56	2.915,62	2.822,70	3.635,82	4.855,50	4.356,01	3.775,21
Alumínio		222,27	205,11	198,57	255,77	341,57	306,44	265,58
Ferro		1.741,01	1.606,59	1.555,39	2.003,44	2.675,52	2.400,29	2.080,25
Papelão		5.686,36	5.247,34	5.080,10	6.543,50	8.738,60	7.839,65	6.794,37
Papel		6.660,33	6.146,11	5.950,22	7.664,27	10.235,36	9.182,44	7.958,11
Diversos		4.367,67	4.030,46	3.902,00	5.026,03	6.712,08	6.021,60	5.218,72
Total		27.200,42	25.100,38	24.300,37	31.300,48	41.800,64	37.500,57	32.500,50
Setor		Setor 21	Setor 22	Setor 23	Setor 24	Setor 25	Setor 26	Setor 27
Material								
Vidro		5.422,37	7.689,91	5.461,81	6.427,97	6.960,35	5.087,17	6.960,35
Pet		3.194,41	4.530,25	3.217,64	3.786,83	4.100,46	2.996,94	4.100,46
Alumínio		224,72	318,69	226,35	266,40	288,46	210,83	288,46
Ferro		1.760,21	2.496,30	1.773,01	2.086,65	2.259,47	1.651,40	2.259,47
Papelão		5.749,08	8.153,24	5.790,89	6.815,27	7.379,73	5.393,68	7.379,73
Papel		6.733,79	9.549,73	6.782,76	7.982,60	8.643,73	6.317,52	8.643,73
Diversos		4.415,84	6.262,47	4.447,96	5.234,78	5.668,34	4.142,86	5.668,34
Total		27.500,42	39.000,60	27.700,42	32.600,50	35.300,54	25.800,40	35.300,54

Fonte: Dados da pesquisa.

Na aplicação do modelo não foram atribuídos pesos diferentes para a densidade abaixo da média e para a densidade acima da média. Atribuíram-se prioridades diferentes a cada um desses itens.

A meta relacionada à densidade dependerá da definição da primeira e segunda metas, pois o valor da densidade é o resultado da razão entre a quantidade coletada e a quilometragem percorrida.

A nona meta do modelo é relacionada à produtividade dos coletores. Duarte (1998) realizou uma pesquisa em Florianópolis e concluiu que os coletores de lixo coletam, em média, 2.930 quilogramas de lixo por dia. Anjos et al. (1995) realizaram uma pesquisa semelhante no Rio de Janeiro e os resultados demonstraram que os garis coletavam, em média, 2.860 quilogramas de lixo por dia. Será considerada como valor da produtividade diária de um gari, a média desses dois estudos: 2.900 quilogramas de lixo por dia. A meta de produtividade será medida em termos de quilogramas coletados a mais ou a menos que os 2.900 estabelecidos por coletor por dia. Para os setores de coleta diária (1, 2 e 3) o valor da meta de produtividade será de 226.200 kg (3 coletores x 26 dias x produtividade de 2.900 kg/coletor/dia). Para os setores de coleta em dias alternados (4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27) o valor da meta de produtividade será de 150.800 kg (4 coletores x 13 dias x produtividade de 2900 kg/coletor/dia). Para o setor 16/17, a meta de produtividade será de 113.100 kg (3 coletores x 13 dias x 2900 kg/coletor/dia).

A manutenção dos valores estipulados indicará que os setores estão bem distribuídos com relação à utilização de suas equipes de trabalho, não havendo assim, sub ou superutilização de mão-de-obra.

Na aplicação do modelo não foram atribuídos pesos diferentes para a produtividade abaixo da média e para a produtividade acima da média. Atribuíram-se prioridades diferentes a cada um desses itens.

Para a aplicação do modelo, as equações (27), (28), (41), (42), (43), (45) e (46) não serão consideradas, pois elas representam situações não vigentes em Piracicaba - SP. Além disso, na equação (40), serão considerados apenas os dois primeiros termos do

lado esquerdo da equação, pois não há coleta convencional de resíduos a serem encaminhados à usina de triagem/compostagem.

Em relação à equação (44), para o caso específico de Piracicaba - SP, considerou-se que todo o material reciclável que chega ao local de processamento é reaproveitável, ou seja, o índice utilizado para a dedução da quantidade aproveitável é igual a um.

O modelo exposto na seção 3.3 foi então aplicado na cidade de Piracicaba - SP. A discussão sobre a aplicação do modelo e os resultados obtidos fazem parte do próximo capítulo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, neste capítulo será apresentado um breve histórico da aplicação do modelo, destacando-se os principais testes realizados até se chegar ao modelo final. Posteriormente, utilizando-se do modelo escolhido, são descritos os resultados obtidos com uma formulação que não considera as prioridades das metas, bem como os resultados obtidos em três formulações que consideram prioridades distintas para cada uma das metas. Esses resultados são então confrontados com a situação observada em Piracicaba - SP.

4.1 Os modelos testados

Antes de se chegar ao modelo final a ser aplicado, foram testadas diversas abordagens para se solucionar o problema. Inicialmente, fazendo-se todas as simplificações possíveis, trabalhou-se com um modelo linear e não inteiro. Neste modelo, as variáveis em questão são X_i (quantidades de lixo coletada por setor), Y_{ti} (quantidades coletadas seletivamente de cada material t por setor), todas as variáveis representativas dos desvios de cada uma das metas, bem como a variável Z que representa o desvio total do modelo, as quilometragens percorridas dentro de cada setor, o número de veículos utilizados em cada setor, o orçamento utilizado na coleta convencional, o orçamento utilizado na coleta seletiva e a produtividade em cada setor. Neste modelo, considerou-se uma densidade igual a 195,15 kg/km.

Posteriormente, foi utilizado um modelo de programação linear inteira, cuja única diferença em relação ao anterior foi a imposição de que o número de veículos assumisse valores inteiros.

Finalmente, foi introduzida a não-linearidade no modelo inicial, fazendo com que a densidade ($dens_i$) passasse a ser determinada internamente pelo modelo (variável endógena) ao invés de ser tomada como dada (variável exógena), tal como adotado nos dois primeiros modelos.

É importante ressaltar que não foi testado o modelo de programação não-linear e inteira, dada a maior dificuldade computacional envolvida (e não disponível no ambiente de desenvolvimento deste estudo) para se obter algum tipo de solução consistente.

Após realizadas as devidas avaliações qualitativas das alternativas de modelagem para o problema, acabou-se por optar pela utilização do modelo não-linear, visto que através dele pôde-se determinar o valor da densidade endogenamente, o que em um modelo linear não seria possível. A quantidade de veículos coletores, que deveria ser um número inteiro, deverá ser encontrada por aproximação, já que neste modelo os resultados para ela designados não serão obrigatoriamente inteiros.

É importante ressaltar que os possíveis arredondamentos a serem realizados com o número de veículos não influenciarão os resultados de metas subsequentes em nenhuma das simulações realizadas. Isso ocorre, pois nas três ordenações realizadas, a quantidade de veículos é definida após a definição das variáveis que a influenciam. Por exemplo, a quantidade a ser coletada convencionalmente está relacionada com o número de veículos. Entretanto, nas ordenações propostas, a quantidade a ser coletada é definida antes de se estabelecer o número de veículos. No caso do orçamento da coleta convencional, onde um dos itens de custo é a depreciação dos veículos, considerou-se a depreciação da frota completa (10 veículos).

Ao introduzir prioridades na resolução do problema de programação por metas, foram testadas três ordenações distintas. A primeira considerou a seguinte ordem das metas: quantidades coletadas convencionalmente ($M1_i$), percurso realizado ($M2_i$), quantidades coletadas seletivamente ($M7_i$), veículos super e subutilizados ($M3$), orçamento da coleta convencional ($M5_i$), orçamento da coleta seletiva ($M6_i$), densidade abaixo e acima da estabelecida ($M8$) e produtividade inferior e superior à estabelecida ($M9_i$).

A segunda testou a seguinte ordenação: quantidades coletadas convencionalmente ($M1_i$), densidade abaixo e acima da estabelecida ($M8$), quantidades coletadas seletivamente ($M7_i$), percurso realizado ($M2_i$), orçamento da coleta convencional ($M5_i$), orçamento da coleta seletiva ($M6_i$), veículos super e subutilizados ($M3$) e produtividade inferior e superior à estabelecida ($M9_i$).

A terceira testou a seguinte ordem de prioridades: produtividade inferior e superior à estabelecida ($M9_i$), quantidades coletadas convencionalmente ($M1_i$), percurso realizado ($M2_i$), densidade abaixo e acima da estabelecida ($M8$), quantidades coletadas seletivamente ($M7_i$), orçamento da coleta seletiva ($M6_i$), veículos super e subutilizados ($M3$) e orçamento da coleta convencional ($M5_i$).

É importante destacar que as três ordenações testadas foram determinadas de maneira aleatória, com o intuito de realizar algumas simulações, cabendo ao tomador de decisão ordenar as metas como for conveniente.

Para resolver o modelo que inclui prioridades foi necessário dividir o modelo completo (vide Anexo J) em diversos subproblemas. O primeiro subproblema contém apenas a primeira meta. Nos modelos subsequentes os resultados de cada subproblema são incluídos como parâmetros do novo subproblema. Por exemplo, ao se considerarem as duas primeiras metas - quantidades coletadas convencionalmente e percurso realizado - processa-se o primeiro modelo contendo apenas as equações e inequações relacionadas à meta de quantidade coletada convencionalmente. Posteriormente, processa-se um novo modelo onde os resultados de quantidades a serem coletadas convencionalmente são inseridos como parâmetros no novo modelo. Além disso, nesse segundo modelo serão inseridas as equações e inequações relacionadas à meta de percurso.

4.2 Resultados obtidos

Os modelos matemáticos formulados foram solucionados através da linguagem de otimização GAMS (Brooke *et al.*, 1998), sendo um exemplo de arquivo de entrada reproduzido no Anexo J.

Nesta seção serão apresentados os resultados para o modelo não-linear sem prioridades e para os três modelos (também não-lineares) que consideram prioridades distintas a cada uma das metas.

4.2.1 Modelo sem prioridades

O modelo utilizado foi o não-linear, com a variável $dens_i$, que representa a densidade por setor, sendo determinada endogenamente. Estabeleceu-se que a densidade média deveria ser de 195,15 kg/km.

O valor da função objetivo (desvio total) foi de 1.226.375,59. A quantidade não coletada convencionalmente em todos os setores foi de 450.066,5 kg. A meta de quilometragem foi ultrapassada em 78,81 km. Os orçamentos da coleta convencional e seletiva foram ultrapassados em R\$ 6.071,72 e R\$ 3.598,69, respectivamente. As quantidades coletadas seletivamente foram totalmente atendidas. A densidade e produtividade abaixo da média foram de 294,43 kg/km e 23.930,28 kg, respectivamente, enquanto as densidades e produtividades acima da média foram de 294,43 kg/km e 741.996,57 kg, respectivamente. Os desvios negativos e positivos do número de veículos foram iguais a zero.

Para essa formulação, as Figuras 15 a 20 ilustram os desvios negativos e positivos de cada uma das metas, por setor, cujos valores exatos podem ser encontrados no Anexo K.

Conforme pode ser visto na Figura 15, para essa formulação, os setores 2, 5, 6, 8, 11, 12, 13, 14, 16, 19, 20, 24, 25, 26 e 27 tiveram toda a quantidade estabelecida coletada (desvios negativos relacionados a MI iguais a zero). Os desvios positivos para essa meta deverão ser iguais a zero para todos os setores, pois não se pode coletar uma quantidade superior à quantidade gerada, que é a estabelecida como meta. O setor 15 apresentou o menor desvio da quantidade a ser coletada convencionalmente: 949,69 kg para os 151.749,69 kg estabelecidos. O setor 10 apresentou o maior desvio, tendo deixado de coletar 87.839,81 kg dos 287.320,19 kg estabelecidos.

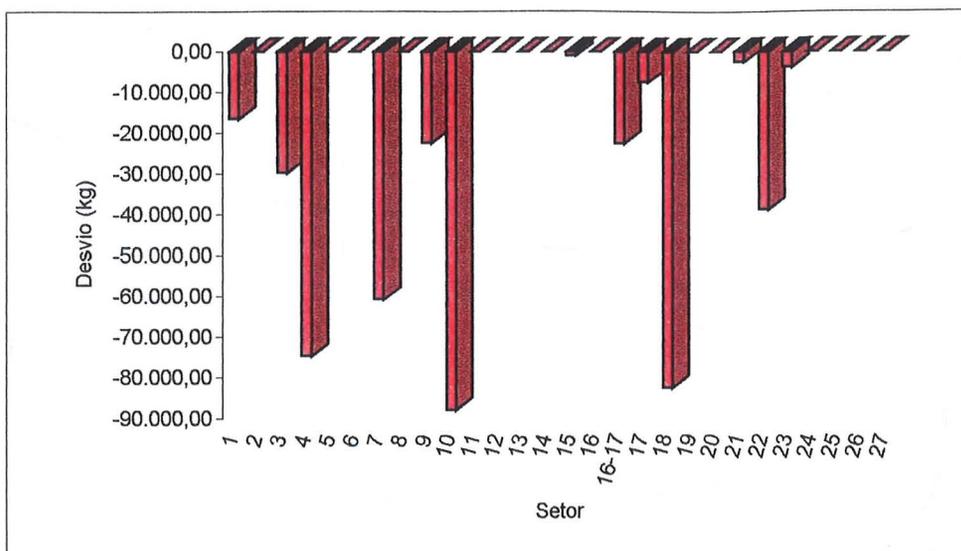


Figura 15 - Variações relacionadas às quantidades coletadas convencionalmente para a formulação sem prioridades e com densidade média de 195,15 kg/km, em Piracicaba - SP, 2000.

De acordo com a Figura 16, percebe-se que apenas o setor 18 apresentou desvio positivo relacionado à meta de quilometragem ($M2$). Nesse setor, foram percorridos 78,81 km a mais do que os estabelecidos como meta. Nos setores 2, 4, 5, 7, 9, 10, 13, 14, 22, 23, 25 e 27 tal meta foi atingida (desvios positivos e negativos iguais a zero). Em todos os outros setores a quilometragem percorrida ficou abaixo da quilometragem estabelecida como meta. O setor que mais se distanciou do proposto foi o setor 1, onde seriam percorridos 807,12 km a menos que os 3.290,56 km propostos. O setor que menos se distanciou foi o setor 15, com 57,93 km a menos que os 1.978,52 km estabelecidos. É importante ressaltar que os desvios negativos relacionados à meta de quilometragem não são somados na função objetivo.

Em relação aos desvios relacionados à quantidade de veículos utilizados ($M3$), em todos os dias da semana não houve sub ou superutilização de veículos coletores. A taxa de aproveitamento dos veículos foi de 91,8% nas 2^{as}, 4^{as} e 6^{as} e 92,5% nas 3^{as}, 5^{as} e sábados (os valores fornecidos pelo modelo foram de 9,18 e 9,25 veículos, respectivamente).

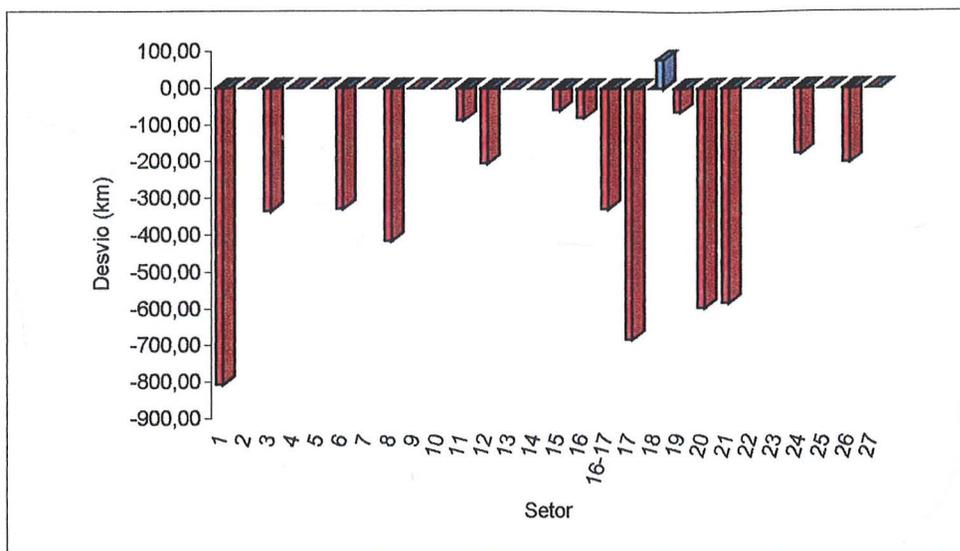


Figura 16 - Variações relacionadas à quilometragem percorrida na coleta convencional para a formulação sem prioridades e com densidade média de 195,15 kg/km, em Piracicaba - SP, 2000.

De acordo com a Figura 17, percebe-se que os setores 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 18, 19, 22, 25 e 27 não utilizaram o total do orçamento disponibilizado para a coleta convencional (desvio negativo *M5* diferente de zero), sendo que a maior sobra se deu no setor 10 (R\$ 3.142,54 dos R\$ 8.978,76 estipulados). A menor sobra ocorreu no setor 27 (R\$ 19,66 dos R\$ 6.154,37 disponíveis). Apenas os setores 1, 8, 15, 16, 16/17, 21, 23 e 26 ultrapassaram o valor estabelecido, sendo que o maior déficit foi do setor 1 (R\$ 1.213,15 acima dos R\$ 7.584,00 estabelecidos) e o menor déficit foi o do setor 16/17 (R\$ 216,73 acima dos R\$ 4.236,58 estabelecidos).

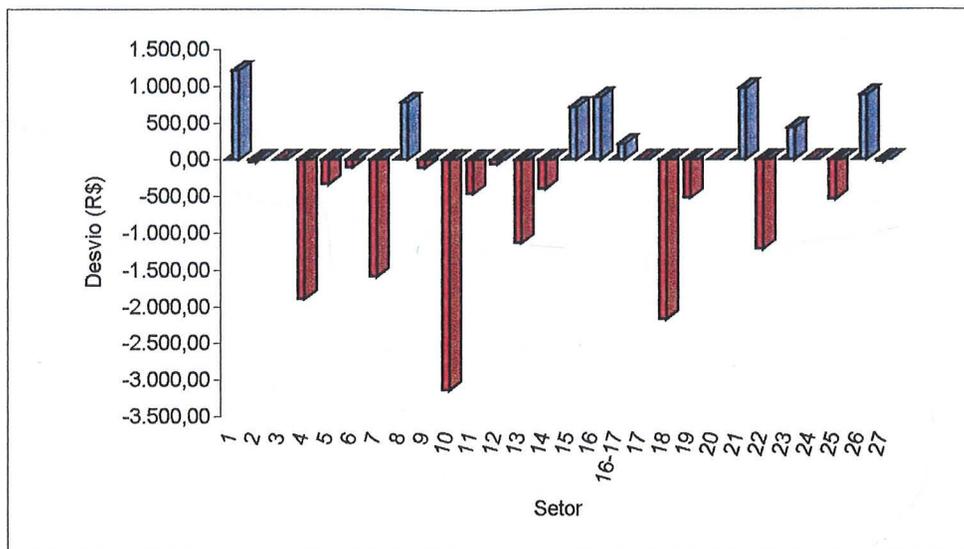


Figura 17 - Variações relacionadas ao Orçamento da Coleta Convencional para a formulação sem prioridades e com densidade média de 195,15 kg/km, em Piracicaba - SP, 2000.

Conforme a Figura 18, percebe-se que não há valores de desvios negativos para *M6* (meta relacionada ao orçamento da coleta seletiva), o que indica que não há sobras de orçamento na coleta seletiva. Nenhum setor conseguiu cumprir o orçamento da coleta seletiva, sendo que o setor que mais ultrapassou o estabelecido foi o setor 2, superando em R\$ 193,25 o estabelecido de R\$ 2.201,73. O setor que menos ultrapassou o estabelecido foi o setor 16/17, excedendo em R\$ 87,44 os R\$ 996,32 estabelecidos como meta.

Não há desvios negativos ou positivos relacionados à meta *M7* (meta relacionada às quantidades coletadas seletivamente), indicando que toda a quantidade a ser coletada seletivamente estabelecida como meta está sendo respeitada.

Conforme a Figura 19, verifica-se que o valor da variável densidade ficou abaixo do valor estipulado nos setores 5, 6, 11, 12, 13, 14, 19, 20, 24, 25 e 27, sendo

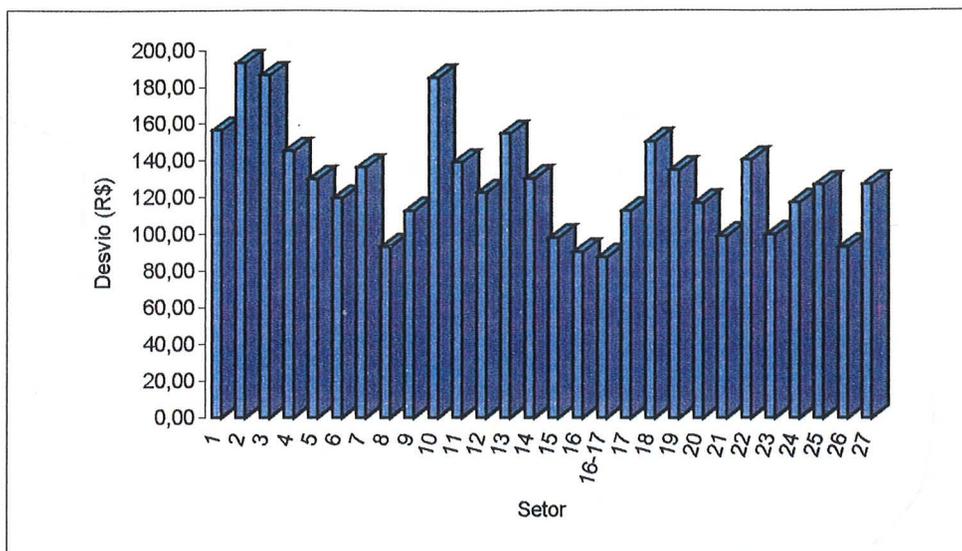


Figura 18 - Variações relacionadas ao Orçamento da Coleta Seletiva para a formulação sem prioridades e com densidade média de 195,15 kg/km, em Piracicaba - SP, 2000.

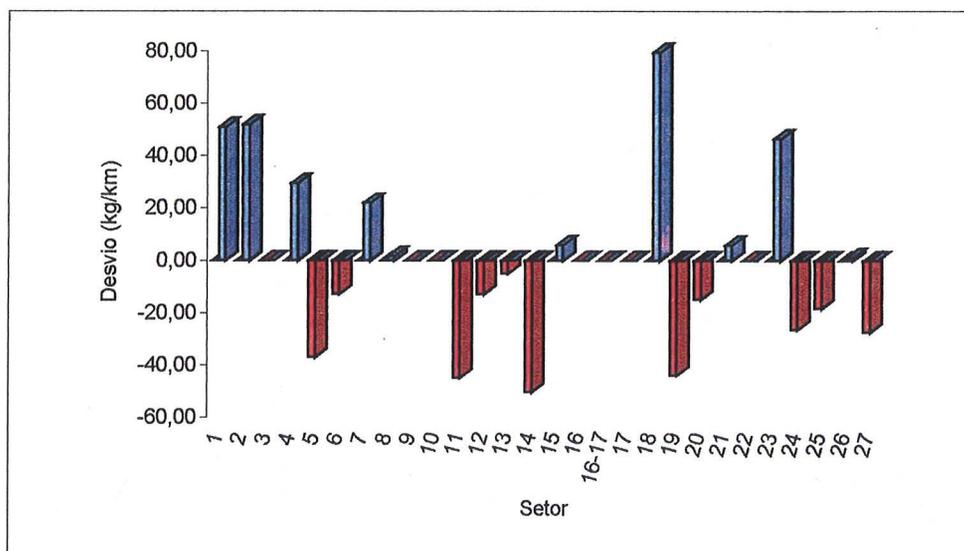


Figura 19 - Variações relacionadas à Densidade da Coleta Convencional para a formulação sem prioridades e com densidade média de 195,15 kg/km, em Piracicaba - SP, 2000.

que o setor 13 apresentou o menor desvio para *M8* (5,07 kg/km) e o setor 14, o maior (50,33 kg/km). Nos setores 1, 2, 4, 7, 8, 15, 18, 21, 23 e 26, o valor da variável densidade foi superior aos valores estipulados, sendo que a maior diferença se deu no setor 18 (79,44 kg/km) e a menor, no setor 26 (1,14 kg/km). Os setores 3, 9, 10, 16, 16/17, 17 e 22 atingiram a meta de densidade.

Os desvios da produtividade (*M9*) são mensurados em termos de quantidades coletadas. De acordo com a Figura 20, percebe-se que os setores 1, 4, 7, 15, 16/17, 18, 21 e 23 apresentaram produtividade de 100%. Os setores 8, 16 e 26 apresentaram produtividades menores que as estabelecidas, sendo que o setor 8 apresentou o menor desvio negativo, deixando de coletar 6.303,05 kg dos 150.800 kg estabelecidos (valor que forneceria uma produtividade de 100%). No setor 16, deixou-se de coletar 10.766,28 kg dos 150.800 kg estabelecidos. Os outros setores (2, 3, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 19, 20, 22, 24, 25 e 27) apresentaram produtividade acima de 100%, sendo que o setor 13 apresentou o maior desvio, 89.098,41 kg, ou seja, 51.160,99 kg acima da produtividade de 150.800 kg estabelecida como meta. O menor desvio positivo foi do setor 9, com 1502,87 kg a mais do que a meta de 150.800 kg.

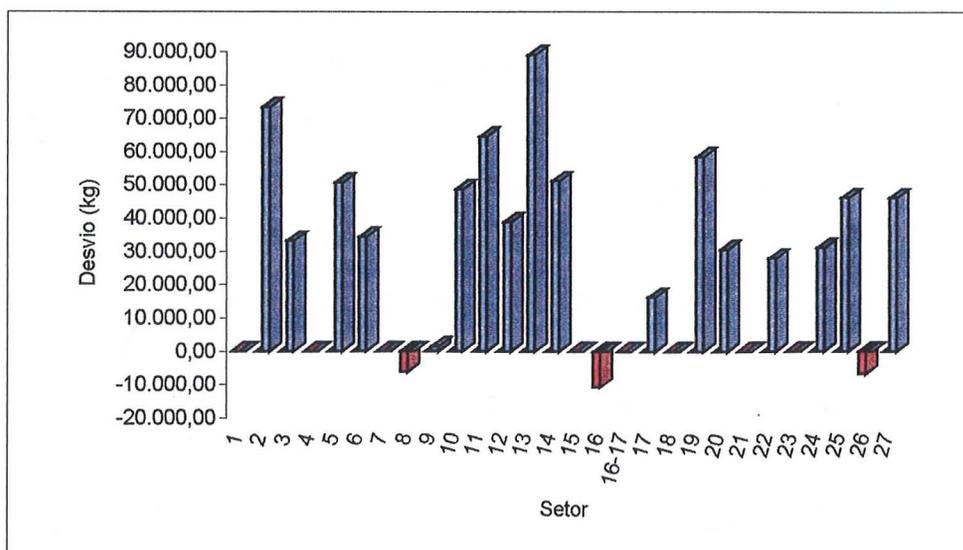


Figura 20 - Variações relacionadas à Produtividade da Coleta Convencional para a formulação sem prioridades e com densidade média de 195,15 kg/km, em Piracicaba - SP, 2000.

4.2.2 Modelos com prioridades

As prioridades (P_i) foram introduzidas no modelo de Programação por Metas, impondo-se a equação de densidade média. A seguir, são descritas as três ordenações distintas utilizadas.

4.2.2.1 Primeira ordenação das prioridades

A primeira ordenação testada considera a seguinte seqüência de metas: quantidades coletadas convencionalmente ($M1_i$), percurso realizado ($M2_i$), quantidades coletadas seletivamente ($M7_i$), veículos super e subutilizados ($M3$), orçamento da coleta convencional ($M5_i$), orçamento da coleta seletiva ($M6_i$), densidade abaixo e acima da estabelecida ($M8$) e produtividade inferior e superior à estabelecida ($M9_i$).

O valor do desvio total para essa ordenação, ponderado pelas prioridades, foi de 1.229.006,69. As Figuras 21 a 25 ilustram os desvios negativos e positivos de cada meta, por setor. No Anexo L, têm-se os valores exatos de tais desvios.

Conseguiu-se coletar toda a quantidade estabelecida como meta para a coleta convencional (desvios nulos para $M1$).

Conforme ilustra a Figura 21, todos os setores conseguiram percorrer a quilometragem estabelecida como meta ($M2$), exceto o setor 11, que percorreu 70,01 km a menos que os 2.623,71 km estabelecidos, e o setor 20, que percorreu 68,67 km a menos que os 2.484,48 km estabelecidos. Entretanto, os valores de desvio negativo para a meta de quilometragem não são somados na função objetivo.

Houve uma superutilização de 1 veículo nas 2^{as}, 4^{as} e 6^{as}, pois se utilizou de 11 veículos (desvio positivo para $M3$ igual a 1,00). A taxa de aproveitamento dos veículos foi de 92,09%, já que o valor fornecido pelo modelo foi de 10,13 veículos. Nas 3^{as}, 5^{as} e sábados não houve sub ou superutilização de veículos (desvios para $M4$ iguais a zero). Foram utilizados os 10 veículos, com taxa de aproveitamento de 98,9% (o valor fornecido pelo modelo foi de 9,89).



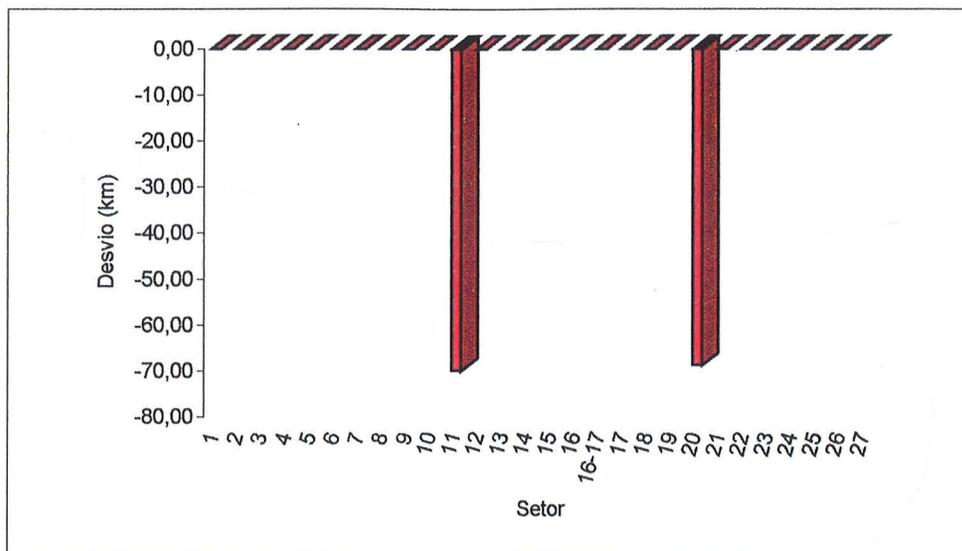


Figura 21 - Variações relacionadas à quilometragem percorrida na Coleta Convencional considerando-se a 1ª ordenação de prioridades, em Piracicaba - SP, 2000.

O orçamento da coleta convencional foi ultrapassado nos setores 1, 3, 8, 15, 16, 16/17, 17, 20, 21, 23 e 26. O maior desvio positivo para *M5* ocorreu no setor 1 (R\$ 1.622,67 acima dos R\$ 7.584,00 estabelecidos) e o menor, no setor 20 (R\$ 213,82 acima dos R\$ 5.666,21 estabelecidos). Entretanto, houve sobras (desvios negativos para *M5*) nos setores 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 18, 19, 22, 24, 25 e 27, conforme ilustra a Figura 22. A maior sobra se deu no setor 10 (R\$ 2.670,59 utilizados a menos que os R\$ 8.978,76 estabelecidos), enquanto a menor sobra ocorreu no setor 24 (R\$ 11,78 a menos que os R\$ 5.683,64 estipulados).

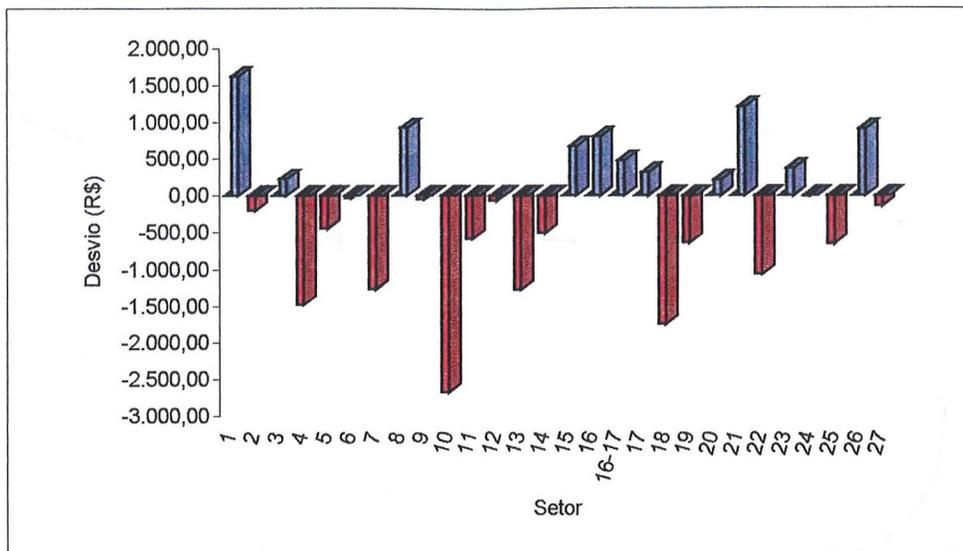


Figura 22 - Variações relacionadas ao orçamento da Coleta Convencional considerando-se a 1ª ordenação de prioridades, em Piracicaba - SP, 2000.

O orçamento da coleta seletiva ultrapassou o estabelecido em R\$ 3.598,69, não havendo sobras de orçamento em nenhum dos setores (desvios negativos para M6 iguais a zero), conforme mostra a Figura 23. O setor que mais ultrapassou o valor estabelecido como meta foi o setor 2 (R\$ 193,25 dos 2.201,73 estabelecidos), enquanto o setor 16/17 foi o que menos ultrapassou o valor da meta (R\$ 87,44 dos R\$ 996,32 estabelecidos).

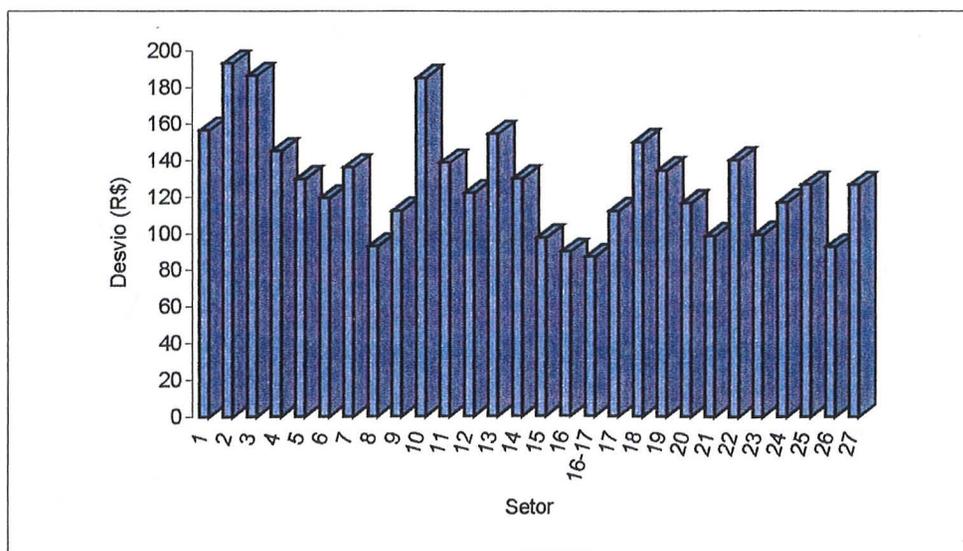


Figura 23 - Variações relacionadas ao orçamento da coleta seletiva considerando-se a 1ª ordenação de prioridades, em Piracicaba - SP, 2000.

A quantidade coletada seletivamente foi alcançada em todos os setores (desvios para $M7$ iguais a zero).

Nenhum setor alcançou a meta estabelecida de densidade de 195,15 kg/km. A somatória dos valores de densidade superiores à média estabelecida foi de 833,25. A somatória dos valores de densidade inferiores à média estabelecida também foi de 833,25. Os setores 2, 4, 7, 9, 10, 14, 18, 22 e 23 apresentaram valores de densidade acima da média estabelecida, conforme ilustra a Figura 24. O maior desvio positivo ocorreu no setor 18 (300,64) e o menor, no setor 14 (21,31). Todos os outros setores apresentaram desvios negativos para a meta de densidade. O maior desvio negativo ocorreu no setor 20 (82,19) e o menor, no setor 13 (5,07).

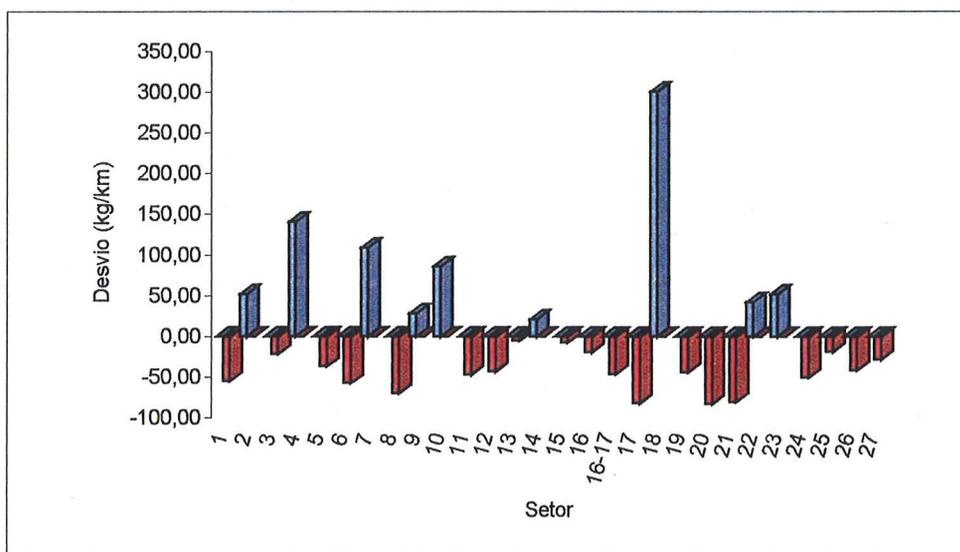


Figura 24 - Variações relacionadas à densidade da coleta convencional considerando-se a 1ª ordenação de prioridades, em Piracicaba - SP, 2000.

A meta de produtividade também não foi alcançada em nenhum setor e de acordo com a Figura 25, esta ficou abaixo de 100% para os setores 8 (faltando 6.303,05 kg para serem coletados a fim de que a produtividade atingisse 100%), 16 (faltando 10.766,28 kg para serem coletados a fim de que a produtividade atingisse 100%) e 26 (faltando 6.860,95 kg para serem coletados a fim de que a produtividade atingisse 100%). A produtividade foi acima de 100% para todos os outros setores, sendo que

1.192.063,09 kg foram coletados graças a valores de produtividade maiores que os 100% estabelecidos.

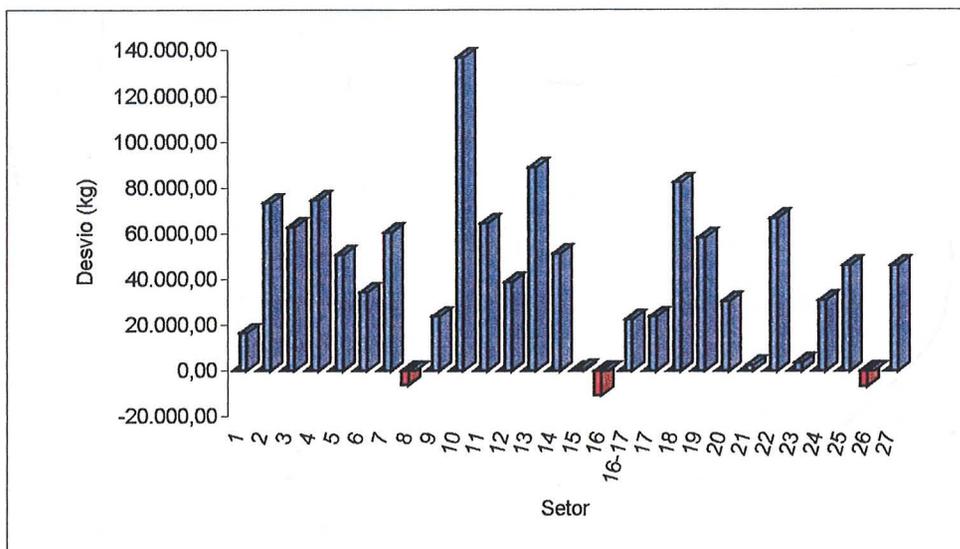


Figura 25 - Variações relacionadas à produtividade da coleta convencional considerando-se a 1ª ordenação de prioridades, em Piracicaba - SP, 2000.

4.2.2.2 Segunda ordenação das prioridades

A segunda ordenação testada considera a seguinte seqüência das metas: quantidades coletadas convencionalmente ($M1_i$), densidade abaixo e acima da estabelecida ($M8$), quantidades coletadas seletivamente ($M7_i$), percurso realizado ($M2_i$), orçamento da coleta convencional ($M5_i$), orçamento da coleta seletiva ($M6_i$), veículos super e subutilizados ($M3$) e produtividade inferior e superior à estabelecida ($M9_i$).

O valor do desvio total, ponderado pelas prioridades, para essa ordenação, foi de 1.230.305,43. Houve um aumento de 1.298,74 da função objetivo dessa ordenação em relação à primeira, graças a um aumento no desvios positivo relacionado às quilometragens percorridas ($M2$). Houve uma diminuição dos desvios positivos e negativos da meta relacionada às densidades ($M8$). Entretanto, essa diminuição foi inferior ao aumento dos desvios positivos de quilometragem.

As Figuras 26 a 29 ilustram os desvios negativos e positivos, por setor, para cada meta, conforme essa ordenação de prioridades. No Anexo M, têm-se os valores detalhados para essa formulação.

Conseguiu-se coletar toda a quantidade estabelecida para a coleta convencional (desvios para *MI* iguais a zero).

A quilometragem percorrida foi superior à estabelecida como meta nos setores 2, 4, 7, 9, 10, 14, 18, 22 e 23. O maior desvio positivo ocorreu no setor 18 (724,63 km a mais que os 1.214,49 km estabelecidos como meta). O menor desvio positivo ocorreu no setor 14 (113,70 km percorridos a mais que os 2.076,07 km estabelecidos como meta), conforme ilustra a Figura 26. Em todos os outros setores a quilometragem percorrida foi inferior à estabelecida como meta. O menor desvio negativo ocorreu no setor 15 (30,92 km percorridos a menos que os 1.978,52 km estabelecidos) e o maior, no setor 20 (676,04 km a menos que os 2.484,48 km estabelecidos como meta).

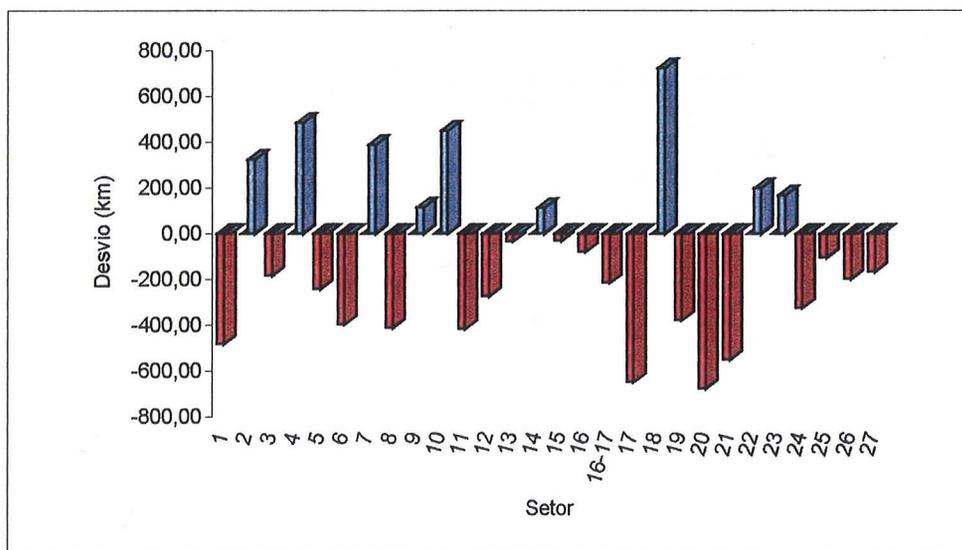


Figura 26 - Variações relacionadas à quilometragem percorrida na coleta convencional considerando-se a 2ª ordenação de prioridades, em Piracicaba - SP, 2000.

Além disso, houve uma superutilização de 1 veículo nas 2^{as}, 4^{as} e 6^{as} (desvio positivo *M3*), pois foram utilizados 11 veículos. A taxa de aproveitamento dos veículos

foi de 92,09%, já que o valor fornecido pelo modelo foi de 10,13 veículos. Nas 3^{as}, 5^{as} e sábados não houve sub ou superutilização dos 10 veículos disponíveis. A taxa de aproveitamento foi de 98,9% (o valor fornecido pelo modelo foi de 9,89 veículos).

Conforme ilustra a Figura 27, o orçamento da coleta convencional foi ultrapassado nos setores 1, 3, 8, 15, 16, 16/17, 17, 20, 21, 23 e 26. O maior desvio positivo ocorreu no setor 1 (R\$ 1.622,67 a mais que os R\$ 7.584,00 estabelecidos) e o menor, no setor 20 (R\$ 203,82 a mais que os R\$ 5.666,21 estabelecidos como meta). Em todos os outros setores houve sobras de orçamento, sendo que a maior sobra ocorreu no setor 10 (R\$ 2670,59 utilizados a menos que os R\$ 8.978,76 estabelecidos como meta) e a menor, no setor 24 (R\$ 11,78 a menos que os 5.683,64 estabelecidos).

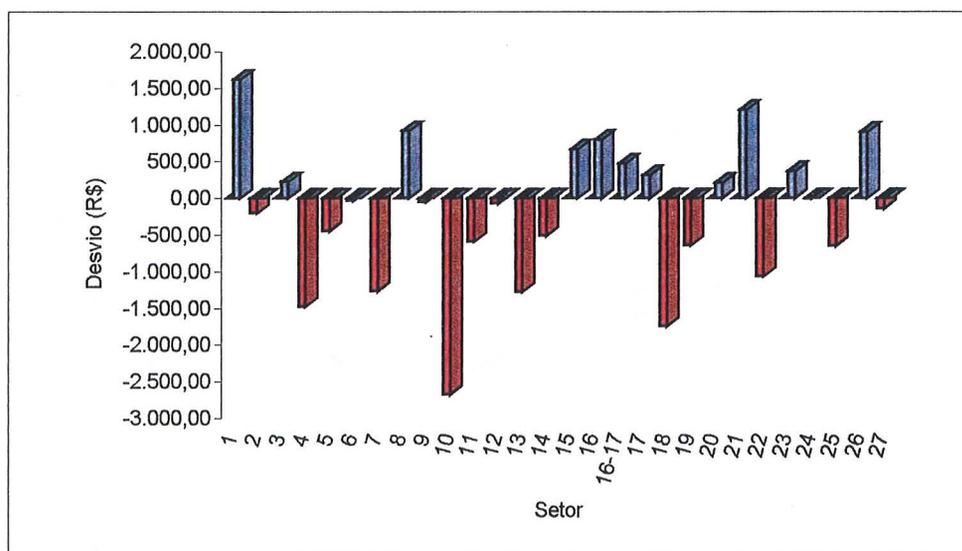


Figura 27 - Variações relacionadas ao orçamento da coleta convencional considerando-se a 2^a ordenação de prioridades, em Piracicaba - SP, 2000.

O orçamento da coleta seletiva, conforme mostra a Figura 28, foi ultrapassado em R\$ 3.598,69 (somatória dos desvios positivos $M6$). No caso da coleta seletiva não houve sobras em nenhum setor, sendo que o que mais ultrapassou o valor estabelecido como meta foi o setor 2 (R\$ 193,25 dos R\$ 2.201,73 estabelecidos).

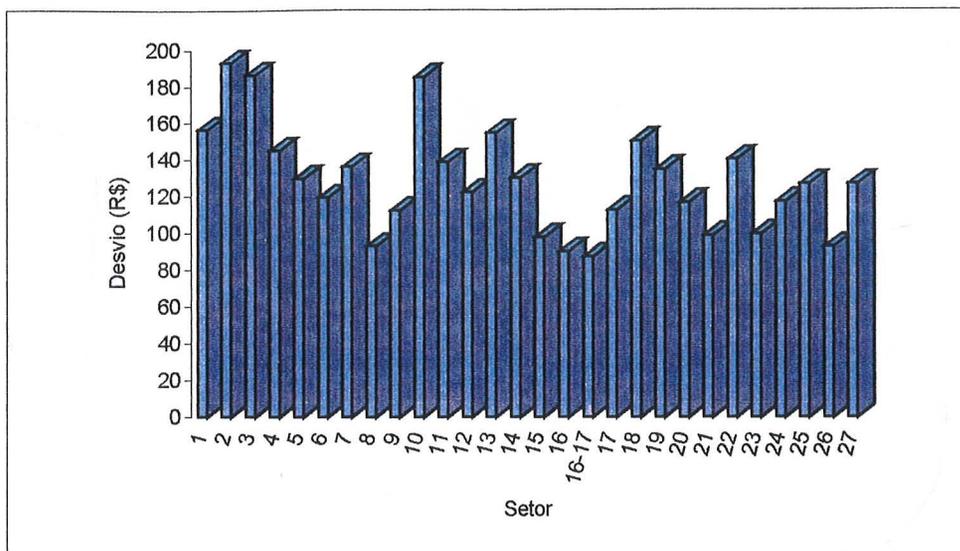


Figura 28 - Variações relacionadas ao orçamento da coleta seletiva considerando-se a 2ª ordenação de prioridades, em Piracicaba - SP, 2000.

A quantidade coletada seletivamente foi alcançada em todos os setores (desvios para *M7* iguais a zero). A densidade de 195,15 também foi alcançada para todos os setores (desvios para *M8* iguais a zero).

Pode-se visualizar na Figura 29 que a produtividade não foi alcançada em nenhum setor, ficando abaixo de 100% para os setores 8, 16 e 26, ou seja, faltando 6.303,05 kg, 10.766,28 kg e 6.860,95 kg, respectivamente, a fim de que a produtividade atingisse 100%. A produtividade foi acima de 100% para todos os outros setores, sendo que 1.192.063,09 kg foram coletados graças a valores de produtividade maiores que os 100% estabelecidos.

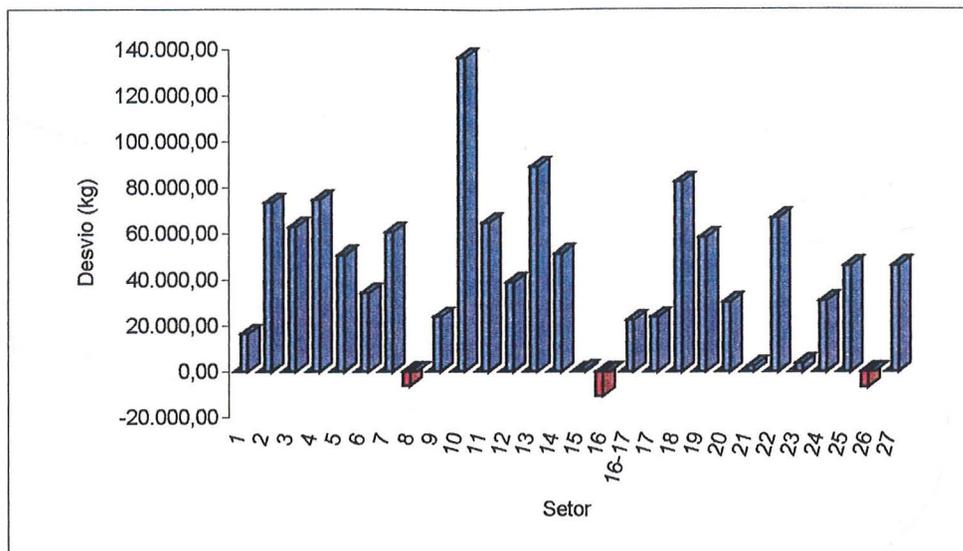


Figura 29 - Variações relacionadas à produtividade da coleta convencional considerando-se a 2ª ordenação de prioridades, em Piracicaba - SP, 2000.

4.2.2.3 Terceira ordenação das prioridades

A terceira ordenação testada considera a seguinte seqüência das metas: produtividade inferior e superior à estabelecida ($M9_i$), quantidades coletadas convencionalmente ($M1_i$), percurso realizado ($M2_i$), densidade abaixo e acima da estabelecida ($M8$), quantidades coletadas seletivamente ($M7_i$), orçamento da coleta seletiva ($M6_i$), veículos super e subutilizados ($M3$) e orçamento da coleta convencional ($M5_i$).

Apesar de um aumento no desvio positivo relacionado ao orçamento da coleta convencional ($M5$), a função objetivo (desvio total ponderado pelas prioridades) para essa ordenação reduziu-se para 1.206.750,02. Essa redução, em relação às duas primeiras ordenações, se deu, principalmente, devido à diminuição dos desvios negativos relacionados à produtividade ($M9$).

As Figuras 30 a 34 ilustram os desvios negativos e positivos das metas para todos os setores segundo a terceira ordenação, cujos valores exatos podem ser encontrados no Anexo N.

De acordo com a Figura 30, não se conseguiu coletar toda a quantidade estabelecida para a coleta convencional, ficando 1.1192.063,09 kg sem serem coletados (somatória dos desvios negativos MI). O maior desvio negativo aconteceu no setor 10 (136.520,19 kg dos 287.320,19 kg não foram coletados). É importante ressaltar que, pelo fato de essa formulação ter como primeira prioridade a produtividade, o primeiro subproblema fornecerá resultados de quantidades a serem coletadas em cada setor que garantam a produtividade de 2.900 kg/coletor/dia. Dessa maneira, nos setores 8, 16 e 26 devem ser coletados 150.800 kg por mês. Entretanto, nesses setores, as metas de quantidades coletadas são de 144.496,95; 140.033,72 e 143.939,72 kg. Essa diferença levará a valores maiores que zero de desvios positivos para a meta de quantidade coletada convencionalmente para esses setores, valores que devem ser desconsiderados, pois representam valores acima das quantidades estimadas de geração de lixo nesses setores.

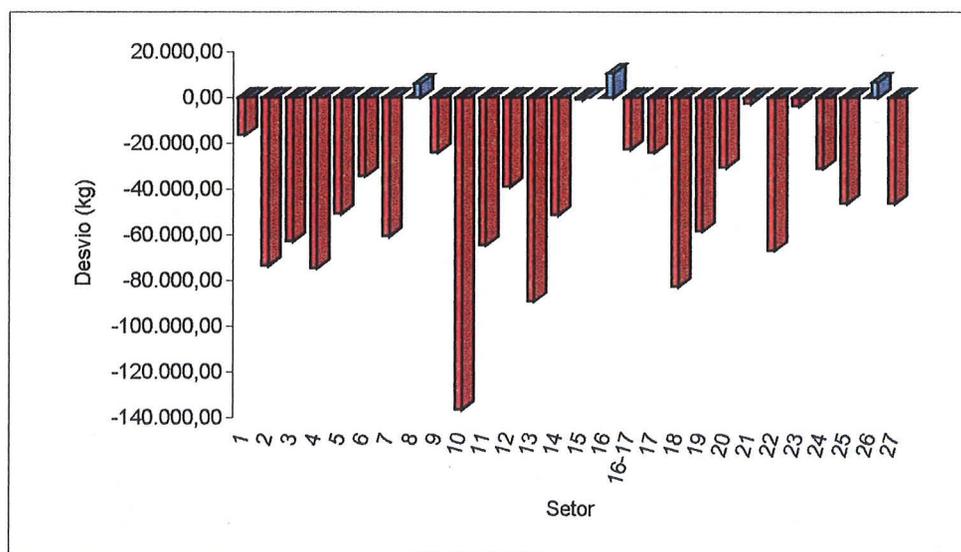


Figura 30 - Variações relacionadas à quantidade coletada convencionalmente considerando-se a 3ª ordenação de prioridades, em Piracicaba - SP, 2000.

Conforme mostra a Figura 31, não houve desvios positivos relacionados à meta de quilometragem ($M2$). Entretanto, houve desvios negativos, ou seja, em alguns setores

(2, 3, 4, 11, 13, 15, 17, 20, 21, 22, 25, 26 e 27) a quilometragem percorrida foi inferior à estabelecida como meta. O maior desvio negativo ocorreu no setor 21 (845 km a menos que os 3.066,15 km estabelecidos como meta), e o menor, no setor 11 (13,31 km a menos que os 2.623,71 km estabelecidos). Nos outros setores a meta de quilometragem foi atendida.

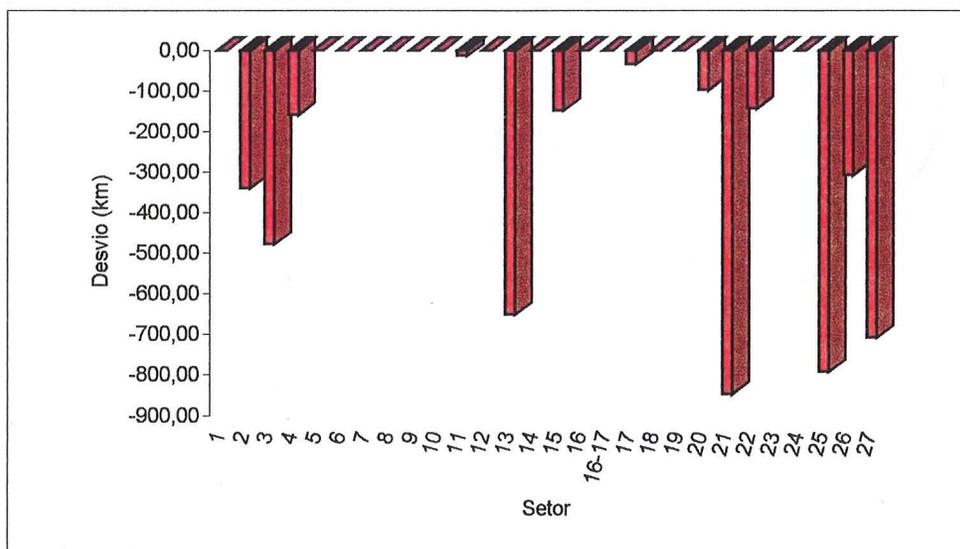


Figura 31 - Variações relacionadas à quilometragem percorrida na coleta convencional considerando-se a 3ª ordenação de prioridades, em Piracicaba - SP, 2000.

Houve uma subutilização de 2 veículos nas 2^{as}, 4^{as} e 6^{as}, pois se utilizaram 8 veículos, com taxa de aproveitamento de 96,63%, já que o valor fornecido pelo modelo foi de 7,73 veículos. Nas 3^{as}, 5^{as} e sábados foram utilizados 9 veículos com taxa de aproveitamento de 90,22%, pois o valor fornecido pelo modelo foi de 8,12 veículos.

O orçamento da coleta convencional foi ultrapassado nos setores 1, 6, 8, 9, 15, 16, 16/17, 17, 20, 21, 23, 24 e 26, conforme ilustra a Figura 32. O maior desvio positivo ocorreu no setor 1 (R\$ 1914,00 a mais que os R\$ 7.584,00 estabelecidos), e o menor, no setor 6 (R\$ 1,91 a mais que os R\$ 5.788,25 estabelecidos como meta). Entretanto, houve sobras de orçamento em todos os outros setores (ocorrência de desvios negativos). A maior sobra se deu no setor 10 (R\$ 3.318,67 a menos que os R\$ 8.978,76 estabelecidos) e a menor, no setor 3 (R\$ 49,38 a menos que os R\$ 9.031,06 estabelecidos).

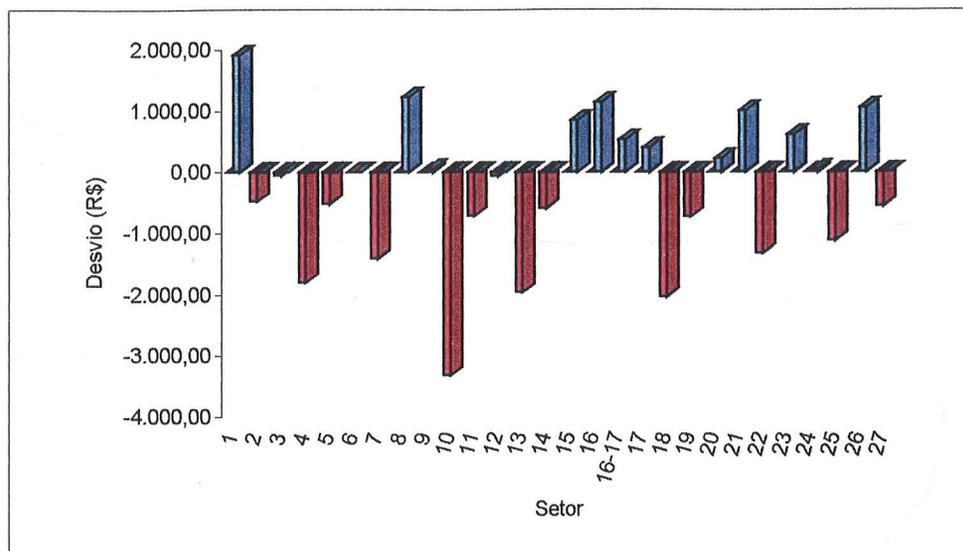


Figura 32 - Variações relacionadas ao orçamento da coleta convencional considerando-se a 3ª ordenação de prioridades, em Piracicaba - SP, 2000.

O orçamento da coleta seletiva foi ultrapassado em R\$ 3.598,69 (somatória dos desvios positivos *M6*), de acordo com a Figura 33. O maior desvio positivo se deu no setor 2 (R\$ 193,25 a mais que os R\$ 2.201,73 estabelecidos como meta). Não houve sobras em nenhum dos setores (todos os desvios negativos foram nulos).

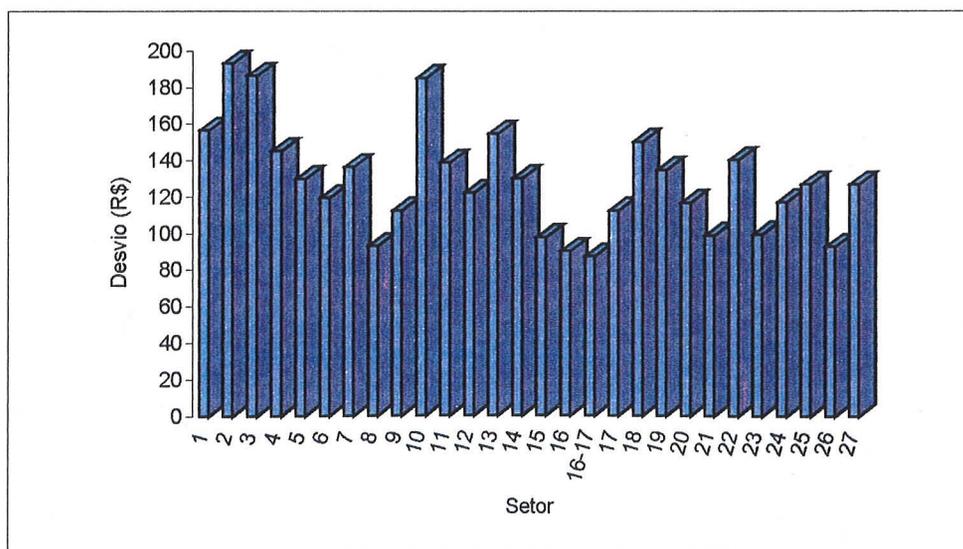


Figura 33 - Variações relacionadas ao orçamento da coleta seletiva considerando-se a 3ª ordenação de prioridades, em Piracicaba - SP, 2000.

A quantidade coletada seletivamente foi alcançada completamente em todos os setores (desvios para $M7$ iguais a zero).

De acordo com a Figura 34, a somatória dos valores de densidade superiores à média estabelecida foi de 994,88, correspondente aos desvios positivos para $M8$ nos setores 2, 4, 7, 13, 15, 18, 21, 22, 23, 25, 26 e 27. A somatória dos valores abaixo da média estabelecida também foi de 994,88, correspondente aos desvios negativos para $M8$ em todos os outros setores.

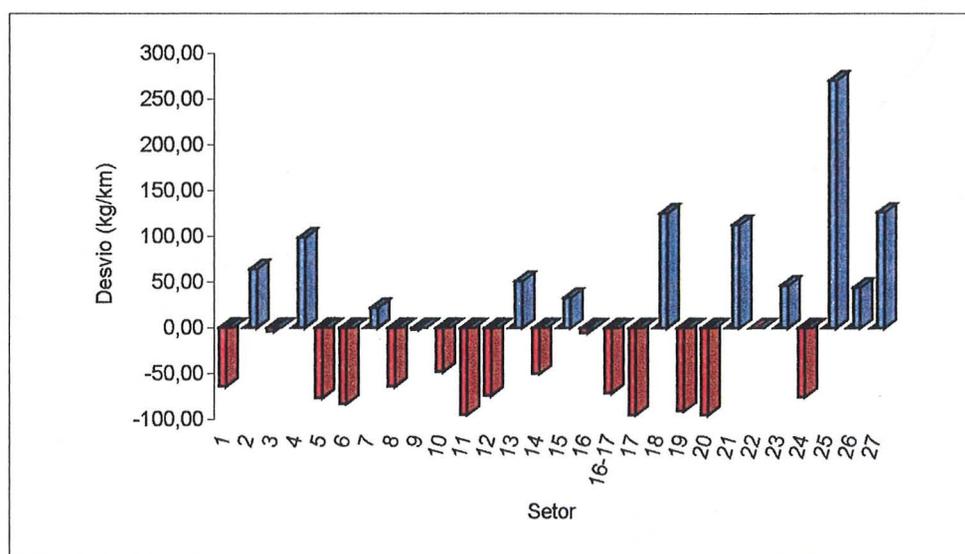


Figura 34 - Variações relacionadas à densidade da coleta convencional considerando-se a 3ª ordenação de prioridades, em Piracicaba - SP, 2000.

A produtividade foi de 100% em todos os setores (desvios para $M9$ iguais a zero).

4.3 Comparação dos valores obtidos com a aplicação dos modelos de programação por metas com os valores praticados em Piracicaba - SP em outubro de 2000

Nas seções seguintes, os resultados de cada simulação serão comparados com os valores praticados em Piracicaba - SP.

4.3.1 Quantidades coletadas convencionalmente

A Tabela 31 mostra os valores reais coletados convencionalmente em Piracicaba, em outubro de 2000, comparando-os com os valores propostos em cada uma das simulações. Em todas as simulações, o valor coletado obtido pelo modelo é menor que o valor coletado em Piracicaba - SP em outubro de 2000. Isso ocorre, pois os valores a serem coletados seletivamente aumentaram de 100 toneladas para 1.000 toneladas por mês, o que diminuiu a quantidade a ser coletada convencionalmente. Além disso, o valor de outubro é 1,54% superior ao valor médio, que é o valor considerado no modelo.

Na 1ª e na 2ª ordenações, os valores coletados foram os estabelecidos como meta. Constatou-se que os valores de coleta observados em Piracicaba - SP aproximam-se mais dos obtidos nessas formulações.

Na 3ª ordenação, os valores obtidos foram exatamente iguais aos da produtividade de cada setor. Por exemplo, o setor 1 tem uma equipe com 3 coletores que realizam a coleta 26 dias no mês. Sendo o valor da produtividade igual a 2.900 kg/coletor/dia, o valor a ser coletado será de 226.200 kg.

No modelo sem prioridades, coletou-se a quantidade possível de acordo com a produtividade máxima de cada setor, pois o modelo considera o alcance de todas as metas ao mesmo tempo.

Tabela 31. Comparação das quantidades coletadas convencionalmente em Piracicaba - SP, em outubro de 2000, com os valores propostos nas 4 simulações distintas.

Setor	Piracicaba	Sem ordenação	1ª ordenação	2ª ordenação	3ª ordenação
1	284.961,96	226.200,00	242.687,93	242.687,93	226.200,00
2	351.780,62	299.594,06	299.594,06	299.594,06	226.200,00
3	339.334,01	259.356,31	288.993,90	288.993,90	226.200,00
4	264.654,32	150.800,00	225.392,92	225.392,92	150.800,00
5	236.485,67	201.403,08	201.403,08	201.403,08	150.800,00
6	217.488,21	185.223,89	185.223,89	185.223,89	150.800,00
7	248.277,20	150.800,00	211.445,34	211.445,34	150.800,00
8	169.667,00	144.496,95	144.496,95	144.496,95	150.800,00
9	205.041,59	152.302,87	174.623,73	174.623,73	150.800,00
10	337.368,75	199.480,38	287.320,19	287.320,19	150.800,00
11	252.862,79	215.350,66	215.350,66	215.350,66	150.800,00
12	222.728,89	189.687,12	189.687,12	189.687,12	150.800,00
13	281.686,53	239.898,41	239.898,41	239.898,41	150.800,00
14	237.140,76	201.960,99	201.960,99	201.960,99	150.800,00
15	178.183,11	150.800,00	151.749,69	151.749,69	150.800,00
16	164.426,32	140.033,72	140.033,72	140.033,72	150.800,00
16/17	159.185,65	113.100,00	135.570,50	135.570,50	113.100,00
17	205.041,59	167.122,20	174.623,73	174.623,73	150.800,00
18	273.825,51	150.800,00	233.203,57	233.203,57	150.800,00
19	245.656,86	209.213,73	209.213,73	209.213,73	150.800,00
20	212.902,61	181.318,56	181.318,57	181.318,57	150.800,00
21	180.148,36	150.800,00	153.423,40	153.423,40	150.800,00
22	255.483,13	178.728,13	217.582,28	217.582,28	150.800,00
23	181.458,53	150.800,00	154.539,21	154.539,21	150.800,00
24	213.557,70	181.876,47	181.876,47	181.876,47	150.800,00
25	231.244,99	196.939,86	196.939,86	196.939,86	150.800,00
26	169.011,92	143.939,05	143.939,05	143.939,05	150.800,00
27	231.244,99	196.939,86	196.939,86	196.939,86	150.800,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

4.3.2 Quilometragem percorrida

A Tabela 32 compara as quilometragens percorridas pelos veículos coletores em cada setor em Piracicaba - SP, em outubro de 2000, com os valores propostos nas quatro simulações.

Em todas as simulações, as quilometragens propostas para os setores 14 e 27 são inferiores às praticadas em Piracicaba - SP. Para os setores 6 e 20, a formulação sem prioridades e a 2ª ordenação de prioridades apresentam valores de quilometragem menores que os praticados em Piracicaba - SP. Os setores 21 e 26, para a formulação sem prioridades e para a 1ª e a 3ª ordenações de prioridades, apresentam valores de quilometragem menores que os valores de Piracicaba - SP. Para o modelo sem prioridades, para a 1ª e para a 3ª ordenações, o setor 18 apresenta quilometragens inferiores às praticadas em Piracicaba - SP. Para a 3ª ordenação, o setor 25 apresenta quilometragem menor que a praticada em Piracicaba - SP nesse setor.

Pôde-se perceber que, em algumas simulações, alguns setores apresentaram valores de quilometragem a ser percorrida maiores que os observados na cidade. Tal fato pode ser explicado pelo motivo de as rotas de coleta realizadas na cidade poderem não abranger todas as ruas de cada setor, o que pode estar acontecendo por dois motivos: ou a coleta não está sendo realizada em todas as vias, ou os caminhões param em determinado ponto e os coletores buscam o lixo das proximidades a pé e o levam para o caminhão que permaneceu estacionado. Como os valores utilizados como metas de quilometragem no modelo incluem todas as ruas de cada setor, esses valores seriam maiores.

Em relação à quilometragem, a formulação sem prioridades foi a que mais se aproximou dos valores praticados em Piracicaba - SP, cabendo à 1ª ordenação como sendo a que mais se distanciou dos valores praticados na cidade.

Tabela 32. Comparação das quilometragens percorridas na coleta convencional em Piracicaba - SP, em outubro de 2000, com os valores propostos nas 4 simulações distintas.

Setor	Piracicaba	Sem ordenação	1ª ordenação	2ª ordenação	3ª ordenação
1	2.405,00	2.483,44	3.290,56	2.807,76	3.290,56
2	1.989,00	2.485,76	2.485,76	2.808,68	2.146,04
3	2.158,00	2.468,30	2.803,53	2.620,20	2.326,08
4	1.131,00	1.347,71	1.347,71	1.831,93	1.189,80
5	1.352,00	2.172,90	2.172,90	1.931,64	2.172,90
6	2.015,00	2.012,07	2.198,56	1.801,42	2.198,56
7	949,00	1.100,74	1.100,74	1.489,62	1.100,74
8	1.469,00	1.701,94	2.117,57	1.707,64	2.117,57
9	1.313,00	1.680,04	1.680,04	1.794,42	1.680,04
10	1.079,00	1.955,59	1.955,59	2.405,70	1.955,59
11	1.872,00	2.442,28	2.553,70	2.205,91	2.610,40
12	1.859,00	2.260,04	2.346,89	2.074,41	2.346,89
13	1.716,00	2.384,75	2.384,75	2.351,98	1.733,73
14	2.236,00	2.076,07	2.076,07	2.189,77	2.076,07
15	1.157,00	1.920,59	1.978,52	1.947,61	1.830,51
16	780,00	1.617,17	1.696,24	1.617,17	1.696,24
16/17	936,00	1.343,95	1.674,58	1.459,10	1.674,58
17	858,00	1.688,38	2.373,64	1.726,82	2.340,00
18	1.365,00	1.293,30	1.214,49	1.939,12	1.214,49
19	1.365,00	2.021,85	2.165,21	1.856,75	2.233,87
20	2.080,00	1.820,03	2.484,48	1.808,44	2.387,32
21	2.730,00	2.481,67	3.066,15	2.517,26	2.221,15
22	1.469,00	1.768,13	1.768,13	1.967,23	1.624,79
23	871,00	1.557,56	1.557,56	1.725,30	1.557,56
24	806,00	1.910,60	2.088,63	1.763,98	2.088,63
25	988,00	1.581,03	1.581,03	1.476,13	791,08
26	1.963,00	1.869,52	2.071,52	1.873,78	1.765,74
27	2.847,00	2.547,82	2.547,82	2.381,97	1.841,81

Fonte: Resultados da pesquisa.

4.3.3 Densidade de coleta

A Tabela 33 compara as densidades da coleta convencional observadas em cada setor em Piracicaba - SP, em outubro de 2000, com os valores propostos nas quatro simulações.

Em todas as simulações, a densidade média é de 195,15 kg/km, porém a densidade média em Piracicaba - SP é de 197,04 kg/km. Em relação às densidades de coleta, a 3ª ordenação foi a que forneceu valores mais próximos aos observados em Piracicaba, enquanto a 1ª ordenação apresentou os valores mais distantes dos observados na cidade.

4.3.4. Orçamento da coleta seletiva e convencional

A Tabela 34 compara os valores do orçamento destinados às coletas convencional e seletiva em Piracicaba - SP, em outubro de 2000, com os valores propostos nas quatro ordenações do modelo de Programação por Metas.

Apenas na formulação sem prioridades, os valores de orçamento da coleta convencional propostos pelo modelo são menores que os valores praticados em Piracicaba - SP, em outubro de 2.000. Nas outras formulações, os valores obtidos com o modelo são um pouco maiores que os valores vigentes na cidade.

Os valores para a coleta seletiva de todas as simulações são maiores que os praticados na cidade devido à proposta de um aumento na quantidade coletada de 100 para 1.000 toneladas por mês.

Tabela 33. Comparação das densidades de coleta na coleta convencional em Piracicaba - SP, em outubro de 2000, com os valores propostos nas 4 simulações distintas.

Setor	Piracicaba	Sem ordenação	1ª ordenação	2ª ordenação	3ª ordenação
1	141,09	242,38	140,58	195,15	131,02
2	204,65	195,61	247,13	195,15	259,24
3	186,88	195,61	173,65	195,15	190,60
4	294,71	195,15	335,81	195,15	293,80
5	257,60	195,15	158,17	195,15	118,43
6	99,61	195,15	137,58	195,15	112,01
7	344,66	195,15	304,40	195,15	217,10
8	173,36	195,15	125,61	195,15	131,09
9	179,31	195,15	223,75	195,15	193,22
10	224,94	195,15	281,08	195,15	147,53
11	174,24	195,15	148,39	195,15	100,00
12	160,07	195,15	152,42	195,15	121,17
13	209,55	195,15	190,08	195,15	246,79
14	141,16	195,15	216,46	195,15	144,82
15	183,71	197,90	187,69	195,15	228,31
16	264,67	195,15	175,78	195,15	189,30
16/17	224,86	195,15	148,95	195,15	124,26
17	258,64	174,65	113,27	195,15	100,00
18	211,81	195,15	495,79	195,15	320,60
19	253,33	185,96	151,55	195,15	104,06
20	139,88	168,43	112,96	195,15	100,00
21	87,00	197,90	114,92	195,15	307,71
22	197,17	195,15	237,57	195,15	195,21
23	234,18	197,90	247,60	195,15	241,61
24	187,10	195,15	144,73	195,15	120,00
25	287,24	195,15	176,78	195,15	465,26
26	109,54	195,15	153,89	195,15	239,54
27	86,07	195,15	167,61	195,15	321,53

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 34. Comparação do orçamento da coleta seletiva e convencional em Piracicaba - SP, em outubro de 2000, com os valores propostos nas 4 simulações distintas.

Serviço	Piracicaba	Sem ordenação	1ª ordenação	2ª ordenação	3ª ordenação
Coleta seletiva	10.174,32	44.599,32	44.599,32	44.599,32	44.599,32
Coleta convencional	128.036,89 ⁴²	121.007,54	131.826,67	131.826,67	129.380,40
Destinação final do lixo	37.435,71	37.435,71	37.435,71	37.435,71	37.435,71
Total Coleta convencional (coleta e destinação final)	165.472,60	158.443,25	169.262,38	169.262,38	166.816,11

Fonte: Resultados da pesquisa.

Em Piracicaba - SP, no período da pesquisa, existiam 9 separadores para 100 toneladas mensais de lixo reciclável. Além disso, no quadro de funcionários havia dois ajudantes, uma assistente social, um auxiliar de escritório, um coordenador e um encarregado. Os custos de mão-de-obra somavam R\$ 10.053,87. Além disso, havia o custo de depreciação dos equipamentos. Acredita-se que os equipamentos existentes eram suficientes mesmo com o aumento da coleta, o mesmo acontecendo com relação aos funcionários, excetuando-se os separadores. Proporcionalmente, para 1000 toneladas seriam necessários 90 separadores. Ao comparar esse número com outras cidades, pode-se acreditar que esteja havendo um exagero de mão-de-obra. Em Uberlândia - MG, por exemplo, segundo a Secretaria do Meio Ambiente⁴³, existiam 76 separadores para 3.900 toneladas mensais. Para 1.000 toneladas seriam necessários 20 separadores. Entretanto, as pessoas que trabalham no Centro de Reabilitação em Piracicaba são pessoas portadoras de algum tipo de deficiência física e/ou mental, o que dificulta o trabalho. Na ausência de outros dados foi considerado o número de 90 separadores, por ser um valor proporcional ao único dado disponível (9 separadores para 100 toneladas). O valor da mão-obra seria então de R\$ 44.478,87 e o valor da depreciação dos equipamentos, de R\$ 120,45. O total do orçamento disponível considerado para a coleta seletiva foi de R\$ 44.599,32.

⁴² O custo da coleta convencional em Piracicaba - SP é de R\$ 131.838,08 mensais. Entretanto, como o "setor de resgate" não fez parte do modelo, considerou-se 3 ½ equipes com 3 coletores, o que resultaria num custo de coleta convencional de R\$ 128.036,89.

⁴³ Comunicação pessoal em 04 de agosto de 2000.

Comparando as simulações com os valores praticados em Piracicaba - SP, percebe-se que, para a coleta convencional, o orçamento que mais se aproxima dos valores de Piracicaba - SP é o referente à 3ª ordenação. Em relação à coleta seletiva, a diferença entre os orçamentos é a mesma para as quatro simulações.

4.3.5 Coleta seletiva

A Tabela 35 compara as quantidades coletadas seletivamente em Piracicaba - SP, em outubro de 2000, com os valores propostos nas quatro simulações do modelo.

Tabela 35. Comparação das quantidades coletadas seletivamente em Piracicaba - SP, em outubro de 2000, com os valores propostos nas 4 simulações distintas.

Quantidade coletada (em kg)	Vidro	PET	Alumínio	Ferro	Papelão	Papel	Diversos	Total
Piracicaba	19.010,00	7.986,00	1.122,00	18.320,00	42.945,00	8.192,00	5.709,00	103.284,00
Modelo sem ordenação de prioridades	197.176,83	116.160,66	8.172,12	64.007,92	209.056,99	244.864,51	160.576,30	1.000.015,32
Modelo da 1ª ordenação	197.176,83	116.160,66	8.172,12	64.007,92	209.056,99	244.864,51	160.576,30	1.000.015,32
Modelo da 2ª ordenação	197.176,83	116.160,66	8.172,12	64.007,92	209.056,99	244.864,51	160.576,30	1.000.015,32
Modelo da 3ª ordenação	197.176,83	116.160,66	8.172,12	64.007,92	209.056,99	244.864,51	160.576,30	1.000.015,32

Fonte: Resultados da pesquisa.

Para todas as simulações coletou-se toda a quantidade proposta como meta de coleta seletiva. Essa quantidade é bem superior à quantidade coletada seletivamente em Piracicaba - SP, na época do desenvolvimento do trabalho.

4.3.6 Veículos

A Tabela 36 compara o número de veículos utilizados para a realização da coleta convencional em Piracicaba - SP, em outubro de 2000, com os valores propostos nas quatro simulações do modelo.

Tabela 36. Comparação do número de veículos utilizados na coleta convencional em Piracicaba - SP, em outubro de 2000, com os valores propostos nas 4 simulações distintas.

Dias da semana	Piracicaba	Sem ordenação	1ª ordenação	2ª ordenação	3ª ordenação
2 ^{as} , 4 ^{as} , 6 ^{as}	10	8	11	11	8
3 ^{as} , 5 ^{as} , Sábados	10	9	10	10	9

Fonte: Resultados da pesquisa.

Com relação aos veículos, há 10 deles disponíveis para a coleta em Piracicaba. Além desses, há 2 destinados a emergências. A 1ª e a 2ª ordenações ultrapassaram o número de 10 veículos nas 2^{as}, 4^{as} e 6^{as}. Na 3ª ordenação e no modelo sem prioridades houve subutilização de 2 veículos nos dias da semana pares e de um veículo nos dias da semana ímpares.

Em relação à quantidade de veículos utilizados na coleta convencional, a 1ª e a 2ª ordenações são as que mais se aproximam do observado em Piracicaba - SP.

4.3.7 Produtividade

A Tabela 37 compara as produtividades dos coletores em cada setor em Piracicaba - SP, em outubro de 2000, com os valores de produtividade propostos nas quatro simulações.

Tabela 37. Comparação da produtividade dos coletores na coleta convencional em Piracicaba - SP, em outubro de 2000, com os valores propostos nas 4 simulações distintas.

Setor	Piracicaba	Sem ordenação	1ª ordenação	2ª ordenação	3ª ordenação
1	126,00	100,00	107,29	107,29	100,00
2	156,00	100,00	132,45	132,45	100,00
3	150,00	100,00	127,76	127,76	100,00
4	176,00	100,00	149,46	149,46	100,00
5	157,00	100,00	133,56	133,56	100,00
6	144,00	100,00	122,83	122,83	100,00
7	165,00	100,00	140,22	140,22	100,00
8	113,00	95,82	95,82	95,82	100,00
9	136,00	100,00	115,80	115,80	100,00
10	224,00	100,00	190,53	190,53	100,00
11	168,00	100,00	142,81	142,81	100,00
12	148,00	100,00	125,79	125,79	100,00
13	187,00	100,00	159,08	159,08	100,00
14	157,00	133,93	133,93	133,93	100,00
15	118,00	100,00	100,63	100,63	100,00
16	109,00	92,86	92,86	92,86	100,00
16/17	141,00	100,00	119,87	119,87	100,00
17	136,00	100,00	115,80	115,80	100,00
18	182,00	100,00	154,64	154,64	100,00
19	163,00	100,00	138,74	138,74	100,00
20	141,00	100,00	120,24	120,24	100,00
21	119,00	100,00	101,74	101,74	100,00
22	169,00	100,00	144,29	144,29	100,00
23	120,00	100,00	102,48	102,48	100,00
24	142,00	100,00	120,61	120,61	100,00
25	153,00	100,00	130,60	130,60	100,00
26	112,00	95,45	95,45	95,45	100,00
27	153,00	100,00	130,60	130,60	100,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

A produtividade média em Piracicaba é de 148,75%. Nas duas primeiras ordenações, a produtividade média é de 126,64%. A 3ª ordenação tem como primeira meta do modelo as produtividades dos coletores. Dessa maneira, essa formulação apresenta uma produtividade de 100% para todos os setores. No modelo sem ordenação das prioridades a produtividade foi de 100% para quase todos os setores, ficando abaixo desse valor para os setores 8 (95,82%), 16 (92,86%) e 26 (95,45%) e acima desse valor para o setor 14 (133,93%).

Em relação à produtividade, os números da 1ª e da 2ª ordenações são os que mais se aproximam dos valores de produtividade praticados em Piracicaba - SP. A 3ª ordenação é a que mais se distancia do observado na cidade, o que indica que a estratégia adotada na cidade não se preocupa com o alcance de uma produtividade uniforme entre os coletores. Além disso, a discrepância dos resultados encontrados com esse modelo, em relação à realidade na cidade, pode significar uma superexploração dos coletores, pois sua produtividade na cidade ultrapassa os valores ótimos citados na literatura (2.900 kg/coletor/dia).

4.4 Considerações Finais

A diversidade das simulações realizadas ilustra como os dados do gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos de uma cidade podem ser utilizados para auxiliar a tomada de decisão dos gestores públicos.

Acredita-se que o melhor tipo de modelo seja aquele que considera diferentes ordenações de prioridades a cada uma das metas. Esse modelo apresenta vantagens em relação ao modelo sem prioridades, pois é mais flexível oportunizando ao tomador de decisão enfatizar a variável que for mais importante em cada momento. Ao se trabalhar com modelos sem prioridades, todas as variáveis são consideradas em conjunto, enquanto que no modelo com prioridades, a ordem de importância das variáveis é estabelecida pelo tomador de decisão. Desta maneira, considera-se o modelo com prioridades mais interessante. Entretanto, a ordenação mais adequada dependerá do objetivo pretendido pelo tomador de decisão no período em questão.

Nas simulações realizadas, percebe-se que, em relação a quantidades coletadas convencionalmente, à quantidade de veículos utilizados e à produtividade de coleta, a estratégia praticada em Piracicaba - SP aproxima-se mais da estratégia incorporada na 1ª e na 2ª ordenações. Já em relação à quilometragem percorrida, a estratégia adotada na cidade aproximou-se mais dos valores obtidos na formulação sem prioridades. Para a densidade e orçamento da coleta convencional, a 3ª ordenação foi a que mais se aproximou do que é observado em Piracicaba - SP.

De todas as simulações realizadas, percebe-se que a estratégia praticada em Piracicaba - SP aproxima-se mais das estratégias incorporadas na 1ª e na 2ª ordenação de prioridades.

5 CONCLUSÕES

O modelo de Programação por Metas desenvolvido e aplicado para a cidade de Piracicaba - SP pode se revelar de grande utilidade para o gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos de um município.

É importante ressaltar que a importância do modelo está no fato de se poder utilizar diversas ordenações de prioridades, dependendo do tipo de objetivo que se pretende alcançar.

Ao englobar múltiplos objetivos e tratá-los de acordo com a prioridade de cada um, consegue-se controlar as variáveis consideradas mais importantes pelo gestor público para auxiliá-lo na sua tomada de decisão.

Como foi mostrado no decorrer do trabalho, diversas simulações podem ser realizadas a fim de se verificarem os impactos no gerenciamento da coleta dos resíduos sólidos urbanos em um município. Pode-se alterar o comportamento de algumas variáveis para identificar o seu impacto sobre as outras variáveis, estabelecer ordens de prioridade diferentes às diversas variáveis, assim como definir algumas variáveis como constantes e verificar o impacto dessa ação, entre outras. Caso a meta orçamentária seja prioritária em um determinado ano, o tomador de decisão poderá determinar os valores de todas as outras variáveis de acordo com a restrição orçamentária estabelecida. Sendo assim, provavelmente, uma menor quantidade de resíduos seria coletada. O tomador de decisão deve ficar atento ao *trade-off* que cada ordenação de prioridades irá originar. No caso do exemplo anterior, se a restrição orçamentária for estabelecida, deverá ser medido o quanto a população estará perdendo por não serem coletados todos os quilogramas de lixo gerados.

O modelo é útil na tomada de decisão nos níveis tático e operacional, o que confirma a hipótese formulada no início da pesquisa. As características vigentes dos sistemas de gerenciamento da coleta, como por exemplo a divisão de setores existentes e os tipos de veículos utilizados, são consideradas como dadas. Entretanto, apesar de considerar o sistema já estruturado e de tentar otimizar o gerenciamento em um sistema pré-determinado, o modelo não é rígido. Sua flexibilidade está na determinação dos níveis das metas. Durante o desenvolvimento do trabalho, foram sugeridas maneiras distintas de se calcularem as metas, dependendo do tipo de estratégia que será adotada pelo tomador de decisão.

Além disso, ao se utilizar o modelo, podem-se detectar necessidades de mudanças na estrutura do sistema, auxiliando na reestruturação da estratégia. A constatação da necessidade de um redimensionamento dos setores de coleta; a necessidade de reconfiguração da frota utilizada, envolvendo veículos de capacidades diferentes para setores com características distintas, são alguns exemplos de como o modelo tático/operacional pode ser útil para detectar problemas na estratégia adotada.

Considerando-se o que foi exposto, percebe-se que os setores podem estar mal dimensionados. Seria então recomendável o redimensionamento daqueles que não tiveram toda a quantidade estabelecida coletada e que circundam setores que cumpriram essa meta. Tal medida diminuiria não só as defasagens de quantidades coletadas em alguns setores, como também as de produtividade, de densidades, do orçamento disponível para o setor, entre outras.

A má divisão dos setores leva a uma superexploração da mão-de-obra dos coletores. Duarte (1998) e Anjos (1995) apontam que os coletores devem coletar 2.900 kg/dia. Entretanto, em Piracicaba, esse valor não foi observado. Para respeitá-lo, seria necessário alocar, em alguns casos, mais que 4 coletores em cada caminhão de coleta, o que se tornaria praticamente inviável em vista do espaço disponível nos caminhões. Esse fato faz com que os coletores trabalhem muito acima da média de produtividade descrita na literatura. Para se respeitar a produtividade de 2.900 kg/coletor/dia, os setores deveriam ser redimensionados e novas equipes deveriam ser contratadas.

Acredita-se que a coleta seletiva apresenta um sério problema de produtividade. Por utilizar mão-de-obra de deficientes físicos/mentais, a produtividade máxima possível não é alcançada, o que leva a um aumento do custo operacional. Entretanto, ocupar os deficientes em um trabalho como este é algo louvável do ponto de vista social.

É preciso também se atentar para a superutilização de veículos. Em nenhuma das simulações foram utilizados mais de 11 veículos, número que, apesar de representar um veículo a mais em relação à meta estabelecida, não ultrapassa o total de veículos disponíveis para a coleta, incluindo a reserva técnica (12 veículos). Caso o número de veículos recomendado ultrapasse o de veículos disponíveis, mais a reserva técnica, a empresa deverá providenciar a compra ou aluguel de outros veículos para que se consiga manter o nível de serviço prestado, o que significará aumento de custos.

Em relação à determinação dos valores ótimos para as metas, deve-se salientar que na designação de valores à meta relacionada ao tamanho do percurso a ser realizado pelos veículos coletores, apesar de não se considerar de maneira exata as mãos de direção de cada uma das ruas ou avenidas, bem como a existência de ruas sem saída, atribuiu-se um fator de correção de 40% para minimizar as distorções que esses problemas podem causar.

Além disso, como já ressaltado anteriormente, o modelo proposto é adequado para os níveis tático e operacional, não sendo, portanto, indicado para a determinação das melhores estratégias a serem adotadas. Por exemplo, no modelo desenvolvido considerou-se como forma de tratamento/processamento/recuperação do lixo, apenas a coleta seletiva de recicláveis, ou seja, o que foi efetivamente observado em Piracicaba - SP. Um modelo mais abrangente poderia considerar variáveis, tais como composição química do lixo, características biológicas, teor de matéria orgânica e poder calorífico, buscando auxílio na determinação de métodos ideais de tratamento/processamento/recuperação adequados para cada situação. Variáveis relacionadas a locais disponíveis para a construção de aterros sanitários poderiam também ser relevantes na tomada de decisão em relação ao destino final do lixo. Em uma cidade onde não haja locais disponíveis para a construção de aterros, recomenda-se

a avaliação de, por exemplo, instalação de incineradores para diminuir a quantidade de lixo a ser aterrada ou, eventualmente, o envio do lixo a municípios vizinhos.

ANEXOS

Anexo A - Questionário aplicado em cidades brasileiras visando caracterizar o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos nessas cidades

1. Quanto de resíduos sólidos urbanos é gerado por dia na cidade?
2. Qual é a taxa de geração per capita?
3. Do total de lixo gerado, quanto é coletado?
4. Qual é a frequência da coleta?
5. Qual é o percurso total realizado diariamente na coleta e transporte do lixo até o processamento e/ou destino final?
6. A coleta atinge toda área urbana do município? Sim ou não?
7. Qual é a composição dos resíduos sólidos urbanos na cidade?
8. Quais são os tipos e respectivas quantidades e capacidades dos veículos envolvidos na coleta e transporte?
9. Como é feita a destinação final do lixo da cidade? (Em aterro sanitário, aterro controlado, lixão, fora do município?). Quantas toneladas são enviadas a cada um dos locais?
10. Especifique a área e respectiva vida útil total e restante de cada local:
11. O lixo da cidade passa por processamento e/ou recuperação? Em caso positivo, qual ou quais?
12. Qual é a capacidade de recepção do incinerador (se houver)?
13. Qual é a capacidade de recepção da usina de reciclagem?
14. Em caso de haver processamento e/ou recuperação, quantas toneladas de lixo “deixam de ir” para o lixão e/ou aterros?
15. Em caso de haver algum tipo de processamento do lixo, após o processamento, quantas toneladas **não são** aproveitadas e/ou deverão receber destinação final?
16. Caso haja reciclagem quais as quantidades de material reciclável resultante?
17. Em caso de existência de usina de reciclagem e compostagem, quais são as receitas obtidas no processo?

18. Quanto do orçamento da Prefeitura (em termos relativos e absolutos), se destina aos serviços de limpeza pública como um todo? E quanto vai para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos? (considerando os serviços de coleta, transporte, processamento, recuperação e destinação final do lixo).

19. Em relação aos gastos, quanto se gasta com os diversos tipos de serviços oferecidos? Observação: Pode-se responder as perguntas abaixo relacionando os gastos com o período (gastos / mês) ou relacionando os gastos com toneladas (gastos / toneladas) ou ainda, se possível, as duas maneiras.

Por período:

R\$ _____/mês com coleta e transporte do lixo urbano

R\$ _____/mês com incineração do lixo, se houver - manutenção, equipamentos, mão-de-obra, etc (excluir custos dos serviços de limpeza e destinação final)

R\$ _____/mês com reciclagem do lixo, se houver – manutenção, equipamentos, mão-de-obra, etc (excluir custos dos serviços de limpeza e destinação final)

R\$ _____/mês com compostagem da matéria orgânica, se houver – manutenção, equipamentos, mão-de-obra, etc (excluir custos dos serviços de limpeza e destinação final)

R\$ _____/mês na destinação final do lixo - considerando custos tais como mão-de-obra, manutenção, operação, etc.

Por toneladas:

R\$ _____/tonelada coletada e transportada do lixo urbano

R\$ _____/tonelada reciclada do lixo, incluindo manutenção, equipamentos, mão-de-obra, etc (excluir custos dos serviços de limpeza e destinação final)

R\$ _____/tonelada que passa pelo processo de compostagem da matéria orgânica, incluindo manutenção, equipamentos, mão-de-obra, etc (excluir custos dos serviços de limpeza e destinação final)

R\$ _____/tonelada na destinação final do lixo - considerando custos tais como mão-de-obra, manutenção, operação, etc.

Anexo B - Demonstração de utilização do software *Reducelt*

A Figura 35 ilustra um exemplo de redução potencial na fonte, calculada com o *Reducelt*. A cidade usada na simulação gera 40.000 toneladas de lixo por ano. Pela figura, percebe-se que as principais fontes de redução são a compostagem (de restos de alimentos e aparas de jardim), a reutilização de roupas, a reciclagem de papel/papelão, a reutilização de paletes de madeira e a reciclagem de toalhas de papel/papelão. O fator potencial do programa para cada opção de minimização de resíduos é calculado através de uma metodologia descrita no “*Source Reduction Program Potencial Manual*”. O potencial do programa é obtido multiplicando-se a quantidade disponível de resíduos pelo fator potencial do programa em cada categoria.

Reducelt: Step 4. Estimates of Source Reduction Program Potential				
Calculation of Program Potential				
Source Reduction Option	Waste Category	Tons of Waste in Category (tons/year)	Program Potential Factor (%)	Program Potential (tons/year)
Grasscycling	Yard Trimmings	6000	29,7	1740
Home Composting	Food Scraps	2800	26,6	728
Home Composting	Yard Trimmings	4218	59,9	2489
Clothing Reuse	Other Waste	3600	8,1	288
Office Paper	Paper & Paperboard	15600	1,6	156
Multi-use Pallets	Wood	2800	10,9	280
Paper Towel	Paper & Paperboard	15600	0,3	0
Other Option				
Total				5681

[Help](#) [Main](#) [<Back](#) [Print](#) [Next>](#)

Screen 1 of 1 for community: Examples, File: Anywhere, Scenario: MSW

Figura 35 - Cálculo do potencial de minimização dos resíduos sólidos urbanos para uma situação hipotética.

A Figura 36 destaca os ganhos financeiros provenientes de ações visando reduções nas quantidades de resíduos gerados. As economias são analisadas em termos de impactos nos custos de coleta, impactos nos custos de disposição final, impactos na receita proveniente da reciclagem, impactos na receita proveniente da compostagem e custos do programa para cada categoria.

Reduclt: Step 5 (Optional). Generate Estimates of Net Savings						
Net Savings						
Source Reduction Option	Impact on Collection Costs (\$/ton)	Impact on Disposal Costs (\$/ton)	Impact on Revenue from Recycling (\$/ton)	Impact on Revenue from Composting (\$/ton)	Program Costs (\$)	Net Savings (\$)
Grasscycling (Yard Trimmings)	10	0	0	15	0	2.022,75
Home Composting (Food Scraps)	15	10	1	0	0	4.926,80
Home Composting (Yard Trimmings)	15	0	0	1	0	36.961,65
Clothing Reuse (Other Waste)	0	0	0	0	0	0,00
Office Paper (Paper & Paperboard)	15	0	0	0	0	586,50
Multi-use Pallets (Wood)	0	0	0	0	0	0,00
Paper Towel (Paper & Paperboard)	0	0	0	0	0	0,00
Other Option						
Total						44.497,70

[Help](#) [Main](#) [<Back](#) [Print](#) [Next>](#)

Screen 2 of 2 for community: Examples, File: Anywhere, Scenario: MSW

Figura 36 - Ganhos financeiros advindos da minimização dos resíduos sólidos urbanos para uma situação hipotética.

Anexo C - Tabelas completas de custos das atividades de coleta/transporte, processamento e destinação final dos resíduos sólidos urbanos em Belo Horizonte e Juiz de Fora

Belo Horizonte

Serviços	Custo operacional (em Reais por tonelada)
Coleta seletiva de produtos recicláveis	R\$ 205,83 ⁴⁴
	R\$ 356,88 ⁴⁵
Compostagem	R\$ 112,55
Coleta e transporte de lixo residencial urbano	R\$ 39,26
Operação do Aterro)	R\$ 7,74
Gastos totais	R\$ 75.000.000,00

Fonte: Departamento Municipal de Limpeza Urbana de Belo Horizonte (2000).

Juiz de Fora

Serviços	Custo operacional (em Reais)	Quantidade (em toneladas)	Custo operacional (em Reais por tonelada)
Coleta domiciliar	160.062,99	7.226,21	22,15
Coleta comercial	10.510,73	587,40	17,89
Coleta seletiva	18.535,15	388,80	47,67
Aterro	29.077,95	7813,61	3,72
Usina	7.775,34	388,80	20,00

Fonte: Departamento Municipal de Limpeza Urbana de Juiz de Fora (1998).

⁴⁴ Custo de coleta de 1 tonelada de vidro.

⁴⁵ Custo de coleta de 1 tonelada de papel ou de metal ou de plástico.

Anexo D - Os percursos realizados em dois dias de coleta (04 e 05 de setembro de 2000) nos diversos setores da cidade de Piracicaba - SP

Setor 1 - Coleta diária - dia 4 de setembro	Km	Horário	Quantidade
Saída	23620	17:55	
Av. Carlos Botelho	23626	18:10	
Av. Campos Salles	23639	20:10	
Balança	23651	20:42	
Descarga	23651	20:45	7360
Rua Dona Eugênia	23658	21:10	
Rua do Rosário	23672	23:00	
Balança	23684	23:23	
Descarga	23684	23:30	6480
Rua Luiz de Queiroz	23691	23:50	
Rua Edu Chaves	23700	01:15	
Balança	23710	01:43	
Descarga	23710	01:50	3550
Chegada	23721	02:15	

Setor 1 - Coleta diária - dia 5 de setembro	Km	Horário	Quantidade
Saída	23893	18:35	
Av. Carlos Botelho	23896	18:50	
Rua do Rosário	23923	21:50	
Balança	23935	22:11	
Descarga	23935	22:16	6620
Rua Luiz de Queiroz	23947	22:35	
Rua Edu Chaves	23952	23:55	
Balança	23962	00:15	
Descarga	23962	00:21	2620
Chegada	23977	00:55	

Setor 2 - Coleta diária - dia 4 de setembro	Km	Horário	Quantidade
Saída	62045	17:00	
Rua Santa Cruz	62048	17:15	
Rua do Rosário	62060	20:10	
Balança	62068	20:34	
Descarga	62068	20:40	7710
Rua do Rosário	62077	21:00	
Rua Moraes Barros	62087	22:40	
Balança	62096	23:00	
Descarga	62096	23:07	7220
Rua Moraes Barros	62105	23:35	
Rua Armando Sales	62110	00:30	
Balança	62118	01:00	
Descarga	62118	01:05	5160
Chegada	62130	01:30	

Setor 2 - Coleta diária - dia 5 de setembro	Km	Horário	Quantidade
Saída	62243	17:00	
Rua Santa Cruz	62246	17:15	
Rua Tiradentes	62266	21:00	
Balança	62276	21:32	
Descarga	62276	21:40	7530
Rua Tiradentes	62285	21:55	
Av. Armando Sales	62292	23:20	
Balança	62300	23:50	
Descarga	62300	23:55	4230
Chegada	62311	00:30	

Setor 3 - Coleta diária - dia 4 de setembro	Km	Horário	Quantidade
Saída	61013	17:55	
São João	61018	18:05	
Rua do Rosário	61028	20:00	
Balança	61036	20:20	
Descarga	61036	20:24	7250
Rua Riachuelo	61044	20:35	
Benjamin Constant	61058	22:55	
Balança	61065	23:12	
Descarga	61065	23:18	7390
Av. Paulo de Moraes	61072	23:25	
Alferez José Caetano	61086	01:10	
Balança	61093	01:30	
Descarga	61093	01:35	5060
Chegada	61106	02:00	

Setor 3 - Coleta diária - dia 5 de setembro	Km	Horário	Quantidade
Saída	32905	18:00	
São João	32910	18:15	
Jorge Cury	32925	20:55	
Balança	32933	21:11	
Descarga	32933	21:16	6700
Av. Paulo de Moraes	32940	21:30	
Alidor Pecorani	32959	23:45	
Balança	32966	00:05	
Descarga	32966	00:11	5120
Chegada	32978	00:40	

Setor 4 - Coleta alternada - dia 4 de setembro			
	Km	Horário	Quantidade
Saída	59682	06:30	
Mercado Municipal	59688	06:42	
Rua Capivari	59701	09:20	
Balança	59708	09:34	
Descarga	59708	09:42	8810
Av. Capuava	59715	09:55	
Av. Dona Jane Conceição	59727	12:15	
Balança	59734	12:31	
Descarga	59734	12:38	8550
Rua Santos	59741	12:50	
Rua Bogotá	59753	15:00	
Balança	59762	15:22	
Descarga	59762	15:27	8280
Chegada	59769	15:42	

Setor 5 - Coleta alternada - dia 04 de setembro			
	Km	Horário	Quantidade
Saída	11684	06:40	
Novo Horizonte	11689	07:00	
Balança	11707	09:28	
Descarga	11707	09:40	8950
Estrada Lixo	11709	09:45	
São Jorge	11741	12:45	
Balança	11745	13:01	
Descarga	11745	13:13	9040
São José	11749	13:30	
Algoal	11769	15:55	
Balança	11780	16:23	
Descarga	11780	16:31	8800
Chegada	11788	16:50	

Setor 6 - Coleta alternada - dia 4 de setembro			
	Km	Horário	Quantidade
Saída	63004	06:30	
Bairro Ipanema	63008	06:35	
Sol Nacente	63020	08:25	
Balança	63031	08:55	
Descarga	63031	09:00	7520
Sol Nacente	63042	09:15	
Bairro Auto Pompéia	63054	10:50	
Balança	63064	11:18	
Descarga	63064	11:23	7920
Bairro Chapadão	63077	11:40	
Escola Agrícola	63139	16:15	
Descarga	63149	16:54	7190
Balança	63149	16:58	
Chegada	63159	17:05	

Setor 7 - Coleta alternada - dia 4 de setembro			
	Km	Horário	Quantidade
Saída	61972	06:45	
Av. Raposo Tavares	61983	07:20	
Vila Antunes	61991	09:00	
Balança	61995	09:19	
Descarga	61995	09:25	8010
Jardim Monte Cristo	62000	09:40	
Jardim Tabuão	62011	11:50	
Balança	62014	12:04	
Descarga	62014	12:08	8570
Jardim Glória	62018	12:20	
Jardim Tóquio	62035	15:10	
Balança	62039	15:26	
Descarga	62039	15:35	8580
Chegada	62045	15:45	

Setor 8 - Coleta alternada - dia 4 de setembro			
	Km	Horário	Quantidade
Saída	11788	17:50	
Av.. Ar. Césare Dedini	11795	18:05	
Rua Joana Darc	11812	19:55	
Balança	11822	20:16	
Descarga	11822	20:22	5540
Av. Bambuta	11833	20:35	
Floriano Garnau	11845	22:20	
Balança	11856	22:42	
Descarga	11856	22:53	6970
Cristo Redentor	11866	23:15	
Silva Jardim	11880	01:50	
Balança	11895	02:05	
Descarga	11895	02:15	7080
Chegada	11901	02:40	

Setor 9 - Coleta alternada - dia 4 de setembro			
	Km	Horário	Quantidade
Saída	59769	17:50	
Av. Juscelino Kubitschek	59779	18:10	
Av. Manoel Conceição	59796	20:45	
Balança	59808	21:10	
Descarga	59808	21:15	9470
Av. Manoel Conceição	59827	21:35	
Av. Presidente Kennedy	59842	23:30	
Balança	59852	00:10	
Descarga	59852	00:17	8640
Chegada	59870	00:59	

Setor 10 - Coleta alternada - dia 4 de setembro			
	Km	Horário	Quantidade
Saída	22720	17:55	
Av. Cansaço de Souza	22727	18:15	
Av. Manoel Conceição	22741	21:00	
Balança	22752	21:25	
Descarga	22752	21:35	10520
Av. Doutor Eládio	22763	21:55	
Rua Ana Meri	22773	23:40	
Balança	22785	00:05	
Descarga	22785	00:15	8150
Chegada	22803	00:55	

Setor 11 - Coleta alternada - dia 4 de setembro			
	Km	Horário	Quantidade
Saída	32594	06:45	
Bairro Areião	32601	07:00	
Bairro Industrial	32624	09:50	
Balança	32638	10:22	
Descarga	32638	10:30	7510
Bairro Industrial	32650	10:50	
Bairro Industrial	32672	14:10	
Balança	32688	14:46	
Descarga	32688	14:54	9920
Bairro Industrial	32702	13:13	
Bairro Algodual	32720	17:30	
Balança	32732	17:55	
Descarga	32732	18:00	7660
Chegada	32738	18:15	

Setor 12 - Coleta alternada - dia 5 de setembro			
	Km	Horário	Quantidade
Saída	61106	06:35	
Cecap I	61121	06:55	
Eldorado I	61134	08:55	
Balança	61148	09:26	
Descarga	61148	09:32	8240
Eldorado I	61166	10:30	
Taquaral	61175	12:00	
Balança	61191	12:28	
Descarga	61191	12:34	5970
São Francisco	61208	13:00	
Paulicéia	61235	16:15	
Balança	61243	16:44	
Descarga	61243	16:48	8680
Chegada	61249	17:10	

Setor 13 - Coleta alternada - dia 4 de setembro			
	Km	Horário	Quantidade
Saída	23488	06:40	
Rua José Abílio	23500	07:05	
Rua Manoel De Barros Ferraz	23515	09:35	
Balança	23530	10:13	
Descarga	23530	10:18	8410
Rua Manoel De Barros Ferraz	23545	10:50	
Rua Ricardo Melato	23557	13:05	
Balança	23571	13:42	
Descarga	23571	13:50	9390
Parque Olanga	23586	14:20	
Rua Nossa Senhora do Carmo	23600	16:25	
Balança	23614	17:00	
Descarga	23614	17:10	9860
Chegada	23620	17:30	

Setor 14 - Coleta alternada - dia 5 de setembro			
	Km	Horário	Quantidade
Saída	23721	06:35	
Mercado Municipal	23726	06:50	
Rua 20 Boa Esperança	23792	10:35	
Balança	23799	11:12	
Descarga	23799	11:19	8310
Rua 21 Boa Esperança	23815	11:52	
Rua Café Filho	23827	13:46	
Balança	23843	14:20	
Descarga	23843	14:27	8480
Rua Café Filho	23859	15:00	
Rua da Alegria	23871	17:25	
Balança	23887	17:58	
Descarga	23887	18:05	7490
Chegada	23893	18:25	

Setor 15 - Coleta alternada - dia 5 de setembro			
	Km	Horário	Quantidade
Saída	60089	18:30	
Av. Juscelino Kubitschek	60095	18:40	
Rua Campos Sales	60108	20:50	
Balança	60123	21:22	
Descarga	60123	21:27	9120
Rua Samuel Neves	60138	21:55	
Rua Saldanha Marinho	60150	00:35	
Balança	60165	01:05	
Descarga	60165	01:08	7230
Chegada	60178	01:30	

Setor 16 - Coleta alternada - dia 5 de setembro			
	Km	Horário	Quantidade
Saída	22926	19:00	
Av. André Pendência	22930	19:15	
Av. Alberto Volet Sachs	22940	21:00	
Balança	22951	22:00	
Descarga	22951	22:12	9600
Rua Casimiro de Abreu	22962	22:35	
Av. Alberto Volet Sachs	22969	00:05	
Balança	22980	0:20	
Descarga	22980	0:25	6280
Chegada	22986	0:35	

Setor 16/17 - Coleta alternada - dia 5 de setembro			
	Km	Horário	Quantidade
Saída	63159	17:50	
Av. Barão de Valência	63167	18:10	
Av. Luciano Guidotti	63184	21:45	
Balança	63193	23:05	
Descarga	63193	23:10	8110
Av. Luciano Guidotti	63203	23:25	
Rua Visconde do Rio Branco	63215	01:00	
Balança	63224	01:21	
Descarga	63224	01:30	8080
Chegada	63231	01:50	

Setor 17 - Coleta alternada - dia 5 de setembro			
	Km	Horário	Quantidade
Saída	12634	18:30	
Av. Alberto Volet Sachs	12638	18:50	
Rua General Góis Monteiro	12648	21:20	
Balança	12658	21:43	
Descarga	12658	22:35	9580
Rua Ragik	12668	22:50	
Rua Gomes Carneiro	12684	01:10	
Balança	12694	01:37	
Descarga	12694	01:50	7490
Chegada	12700	02:05	

Setor 18 - Coleta alternada - dia 5 de setembro			
	Km	Horário	Quantidade
Saída	32800	06:40	
Bairro Serra Verde - Av. 1	32810		
Av. Luciano Guidotti	32825	09:34	
Balança	32835	09:58	
Descarga	32835	10:08	7300
Bairro Chico	32841	10:25	
Rua Fernando Lopes	32864	13:30	
Balança	32874	13:49	
Descarga	32874	13:55	7130
Rua Fernando Lopes	32879	14:10	
Av. São Paulo	32893	16:25	
Balança	32899	16:53	
Descarga	32899	16:59	7810
Chegada	32905	17:10	

Setor 19 - Coleta alternada - dia 5 de setembro			
	Km	Horário	Quantidade
Saída	22821	06:50	
Av. Rio das Pedras	22827	07:05	
Rua Argentina	22843	10:20	
Balança	22855	10:51	
Descarga	22855	10:58	9830
Rua Equador	22867	11:20	
Rua Antônio Arruda	22881	14:30	
Balança	22890	14:56	
Descarga	22890	15:00	8690
Rua Domingos Rodrigues	22900	15:30	
Av. Luciano Guidotti	22913	18:15	
Balança	22920	18:32	
Descarga	22920	18:38	8080
Chegada	22926	19:00	

Setor 20 - Coleta alternada - dia 5 de setembro			
	Km	Horário	Quantidade
Saída	64213	06:30	
Av. Bruno Ferraioli	64217	06:45	
Rua Clara Nunes	64230	08:50	
Balança	64240	09:11	
Descarga	64240	09:16	8130
Rua Luiz Camulesi	64253	09:50	
Av. Sidney Luiz Brajon	64263	11:25	
Balança	64273	11:40	
Descarga	64273	11:47	6740
Rua dos Falcões	64286	12:15	
Bairro Monte Alegre	64344	16:50	
Balança	64366	17:35	
Descarga	64366	17:40	7510
Chegada	64373	18:00	

Setor 21 - Coleta alternada - dia 5 de setembro			
	Km	Horário	Quantidade
Saída	61819	06:40	
Rua Jardim Brasília	61826	06:55	
Rua Jardim Aparete	61858	10:05	
Balança	61879	10:29	
Descarga	61879	10:32	7060
Rua Antônio N. Coelho	61901	11:05	
Chácara Modelo	61934	14:18	
Balança	61956	14:49	
Descarga	61956	14:53	6510
B. Jardim Bartira	61981	15:30	
B. Parque Peória	61995	17:05	
Balança	62022	17:50	
Descarga	62022	18:00	4700
Chegada	62029	18:09	

Setor 22 - Coleta alternada - dia 5 de setembro			
	Km	Horário	Quantidade
Saída	62130	06:45	
Novas Vaz Colinas	62135	07:00	
Petrópolis	62145	08:30	
Balança	62157	09:05	
Descarga	62157	09:09	7380
Rua Antônio Calar	62169	09:40	
Morumbi	62177	11:10	
Balança	62189	11:39	
Descarga	62189	11:44	7310
Av. Dois Córregos	62201	12:10	
Av. Fernando Lopes	62230	15:10	
Balança	62237	15:34	
Descarga	62237	15:43	7590
Chegada	62243	16:00	

Setor 23 - Coleta alternada - dia 5 de setembro			
	Km	Horário	Quantidade
Saída	13670	18:00	
Av. São João	13678	18:25	
Av. Independência	13687	20:50	
Balança	13698	21:15	
Descarga	13698	21:24	8490
Silva Jardim	13709	21:45	
Regente Feijó	13718	00:05	
Balança	13730	00:30	
Descarga	13730	00:37	7200
Chegada	13737	01:00	

Setor 24 - Coleta alternada - dia 4 de setembro			Quantidade
Saída	32738	18:30	
Voluntários	32743	18:45	
Av. Independência	32752	21:00	
Balança	32762	23:20	
Descarga	32762	23:55	7520
Tuquilino Pacheco	32711	00:20	
Dom Pedro I	32778	01:40	
Balança	32788	02:10	
Descarga	32788	02:17	4080
Chegada	32800	02:40	

Setor 25 - Coleta alternada - dia 4 de setembro			Quantidade
	Km	Horário	
Saída	22643	06:50	
Rua Marília (J. Monte Líbano)	22645	07:00	
Rua Estore Galesi (J. Paraíso)	22660	10:00	
Balança	22667	10:19	
Descarga	22667	10:28	10820
Rua Senador Saraiva	22672	10:45	
Estrada do Aterro	22710	15:35	
Balança	22712	15:41	
Descarga	22712	15:48	11010
Chegada	22719	16:10	

Setor 26 - Coleta alternada - dia 4 de setembro			Quantidade
	Km	Horário	
Saída	60862	06:45	
B. Primavera	60873	07:00	
B. Vila Fátima	60889	09:20	
Balança	60906	09:51	
Descarga	60906	10:00	8190
Chácara Santo André	60923	10:30	
B. Algodão	60994	15:00	
Balança	61006	15:24	
Descarga	61006	15:28	8350
Chegada	61013	15:45	

Setor 27 - Coleta alternada - dia 5 de setembro			
	Km	Horário	Quantidade
Saída	59870	06:30	
Rua Ricardo Meloto	59885	07:00	
Rua Guaratim Dueta	59946	11:05	
Balança	59964	11:38	
Descarga	59964	11:43	7430
Ártemis	59991	12:15	
Rua Angatuba	60018	15:00	
Balança	60037	15:31	
Descarga	60037	15:41	7780
Rua Indiana	60057	16:10	
Rua da Alegria	60065	17:25	
Balança	60082	17:52	
Descarga	60082	18:00	3640
Chegada	60089	18:25	

Anexo E - Dados sobre quantidades agregadas mensais e quantidades médias anuais (em toneladas) coletadas em Piracicaba de janeiro de 1989 a dezembro de 1999

Mês	Ano										
	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Jan	4423,98	4840,68	4595,46	4912,01	5047,60	5145,95	5870,44	6513,47	6536,08	5541,33	7089,12
Fev	3822,79	3862,63	4043,93	4851,79	4633,50	4864,48	5108,27	5816,50	5675,88	5520,73	6041,04
Mar	4196,38	4249,66	4323,82	5084,24	5111,09	5298,76	5790,53	6084,33	5868,54	6311,24	6748,60
Abr	3770,10	4018,82	4818,96	4720,69	4749,33	4932,25	5087,06	5802,50	5829,48	5980,83	6085,16
Mai	4323,10	4613,07	4538,98	4891,58	4810,01	5202,16	5693,45	5680,62	5616,27	5711,43	6203,48
Jun	4177,13	4216,99	4557,13	4809,27	5152,52	5045,69	5007,77	5801,31	5745,58	5973,21	6151,92
Jul	4378,12	4468,62	4970,10	5059,42	5394,62	5146,77	5339,16	5822,41	6214,39	6303,31	6441,87
Ago	4565,61	4693,90	5111,59	4996,49	5064,77	5432,18	5604,33	5987,61	6256,93	6293,00	6328,71
Set	4181,68	4049,97	4824,73	5289,99	5510,74	5336,78	5302,43	5637,87	6102,42	5965,28	6169,58
Out	4140,09	4498,88	5182,24	5298,82	5092,23	5245,01	5789,29	5820,36	6114,36	6102,42	6187,51
Nov	4042,07	4272,37	4601,43	4953,29	5102,41	5205,39	5648,89	5945,79	5765,09	6001,58	6482,04
Dez	4331,63	4419,78	5305,37	5226,40	5581,02	5965,29	6226,52	7061,88	6016,94	7608,08	7390,42
Total	50352,68	2205,37	56873,74	0093,99	61249,84	62820,71	66468,14	71974,65	71741,96	3312,44	77319,45
Média	4196,06	4350,45	4739,48	5007,83	5104,15	5235,06	5539,01	5997,89	5978,50	6109,37	6443,29

Anexo F - Variações percentuais em relação às médias anuais coletadas em Piracicaba de janeiro de 1989 a dezembro de 1999

Ano Mês	1999												
	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	1999	
Jan	5,431845932	11,268553	-3,038696	-1,9134526	-1,107986568	-1,7021620	-1,7021620	-1,7021620	-1,7021620	-1,7021620	-1,7021620	-1,7021620	-1,7021620
Fev	-8,895653618	-11,213040	-14,675630	-3,1159688	-9,220987353	-7,0787960	-7,0787960	-7,0787960	-7,0787960	-7,0787960	-7,0787960	-7,0787960	-7,0787960
Mar	0,007705647	-2,316716	-8,770128	1,5257599	0,135902396	1,2168121	1,2168121	1,2168121	1,2168121	1,2168121	1,2168121	1,2168121	1,2168121
Abr	-10,151356390	-7,622837	1,677013	-5,7338679	-6,951658976	-5,7842550	-5,7842550	-5,7842550	-5,7842550	-5,7842550	-5,7842550	-5,7842550	-5,7842550
Mai	3,027683929	6,036678	-4,230388	-2,3214135	-5,7622823217	-0,6284390	-0,6284390	-0,6284390	-0,6284390	-0,6284390	-0,6284390	-0,6284390	-0,6284390
Jun	-0,451058414	-3,067673	-3,847435	-3,9650388	0,947594312	-3,6173260	-3,6173260	-3,6173260	-3,6173260	-3,6173260	-3,6173260	-3,6173260	-3,6173260
Jul	4,338915029	2,716330	4,865972	1,0301363	5,690790376	-1,6864980	-1,6864980	-1,6864980	-1,6864980	-1,6864980	-1,6864980	-1,6864980	-1,6864980
Ago	8,807157832	7,894648	7,851321	-0,2264952	-0,771593852	3,7653984	3,7653984	3,7653984	3,7653984	3,7653984	3,7653984	3,7653984	3,7653984
Set	-0,342623272	-6,906818	1,798756	5,6343238	7,965800400	1,9430694	1,9430694	1,9430694	1,9430694	1,9430694	1,9430694	1,9430694	1,9430694
Out	-1,333791965	3,411890	9,341992	5,8106476	-0,233600610	0,1900806	0,1900806	0,1900806	0,1900806	0,1900806	0,1900806	0,1900806	0,1900806
Nov	-3,669794736	-1,794700	-2,912733	-1,0891439	-0,034155191	-0,5667400	-0,5667400	-0,5667400	-0,5667400	-0,5667400	-0,5667400	-0,5667400	-0,5667400
Dez	3,230970030	1,593687	11,939957	4,3645130	9,342718283	13,9488550	13,9488550	13,9488550	13,9488550	13,9488550	13,9488550	13,9488550	13,9488550

Anexo F - Variações percentuais em relação às médias anuais coletadas em Piracicaba de janeiro de 1989 a dezembro de 1999

Ano Mês	Ano														
	1995	1996	1997	1998	1999	1995	1996	1997	1998	1999	1995	1996	1997	1998	1999
Jan	5,9835283	8,5960682	9,326480626	-9,297849	10,023338										
Fev	-7,7765080	-3,0241898	-5,061751867	-9,635036	-6,242892										
Mar	4,5408522	1,4412158	-1,839202609	3,304269	4,738458										
Abr	-8,1594280	-3,2576053	-2,492544112	-2,103981	-5,558149										
Mai	2,7881930	-5,2896541	-6,058825268	-6,513601	-3,721819										
Jun	-9,5909110	-3,2774456	-3,895906942	-2,228708	-4,522032										
Jul	-3,6080740	-2,9256551	3,945696493	3,174468	-0,022000										
Ago	1,1792417	-0,1713520	4,657246610	3,005711	-1,778246										
Set	-4,2711890	-6,0024050	2,072817637	-2,358508	-4,247948										
Out	4,5184655	-2,9598338	2,272533396	-0,113760	-3,969674										
Nov	1,9837173	-0,8685975	-3,569570723	-1,764339	0,601440										
Dez	12,4121120	17,7394540	0,643026759	24,531335	14,699523										

Anexo G - Estimativa de valores de geração de lixo por setor para todos os meses do ano

Setor	Mês											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	294.922,47	263.829,34	287.225,36	271.582,92	280.289,36	276.428,02	290.746,82	295.089,85	284.961,96	290.594,59	282.628,25	315.964,22
2	364.076,69	325.692,77	354.574,75	335.264,42	346.012,38	341.245,62	358.921,93	364.283,33	351.780,62	358.734,00	348.899,70	390.052,37
3	351.195,03	314.169,19	342.029,28	323.402,18	333.769,86	329.171,76	346.222,65	351.394,35	339.334,01	346.041,37	336.555,02	376.251,64
4	273.905,00	245.027,71	266.756,42	252.228,73	260.314,71	256.728,55	270.026,93	274.060,45	264.654,32	269.885,54	262.486,92	293.447,22
5	244.751,75	218.948,03	238.364,03	225.382,60	232.607,95	229.403,48	241.286,44	244.890,66	236.485,67	241.160,10	234.548,96	262.213,98
6	225.090,25	201.359,41	219.215,68	207.277,08	213.922,00	210.974,95	221.903,32	225.218,00	217.488,21	221.787,13	215.707,08	241.149,70
7	256.955,43	229.865,10	250.249,22	236.620,52	244.206,13	240.841,88	253.317,34	257.101,27	248.277,20	253.184,71	246.243,92	275.288,36
8	175.597,51	157.084,59	171.014,63	161.701,09	166.884,92	164.585,87	173.111,32	175.697,17	169.667,00	173.020,68	168.277,50	188.125,81
9	212.208,57	189.835,82	206.670,20	195.414,83	201.679,47	198.901,08	209.204,03	212.329,02	205.041,59	209.094,49	203.362,39	227.348,96
10	349.161,07	312.349,68	340.048,41	321.529,19	331.836,82	327.265,35	344.217,49	349.359,24	337.368,75	344.037,26	334.605,85	374.072,57
11	261.701,31	234.110,63	254.871,23	240.990,81	248.716,53	245.290,14	257.996,02	261.849,84	252.862,79	257.860,94	250.791,96	280.372,84
12	230.514,11	206.211,44	224.497,99	212.271,71	219.076,74	216.058,68	227.250,39	230.644,94	222.728,89	227.131,40	220.904,84	246.960,54
13	291.532,55	260.796,82	283.923,92	268.461,27	277.067,64	273.250,68	287.404,90	291.698,01	281.686,53	287.254,41	279.379,64	312.332,44
14	245.429,73	219.554,54	239.024,33	226.006,94	233.252,30	230.038,95	241.954,83	245.569,03	237.140,76	241.828,14	235.198,68	262.940,34

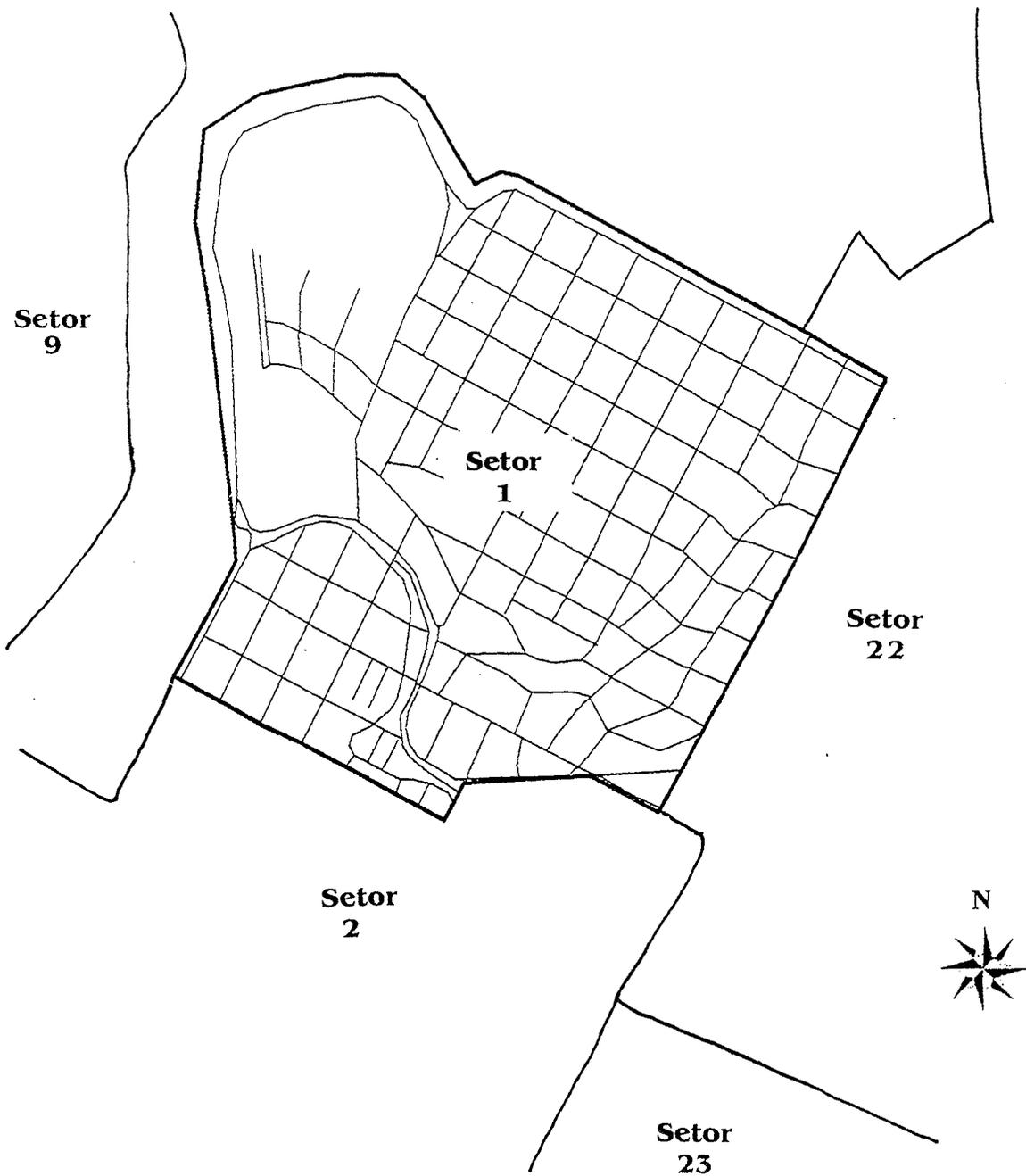
Anexo G - Estimativa de valores de geração de lixo por setor para todos os meses do ano

Setor	Mês											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
15	184.411,29	164.969,15	179.598,39	169.817,36	175.261,39	172.846,95	181.800,31	184.515,95	178.183,11	181.705,12	176.723,87	197.568,43
16	170.173,65	152.232,56	165.732,33	156.706,46	161.730,18	159.502,14	167.764,25	170.270,23	164.426,32	167.676,41	163.079,74	182.314,98
16/17	164.749,79	147.380,53	160.450,03	151.711,84	156.575,44	154.418,41	162.417,19	164.843,30	159.185,65	162.332,15	157.881,99	176.504,15
17	212.208,57	189.835,82	206.670,20	195.414,83	201.679,47	198.901,08	209.204,03	212.329,02	205.041,59	209.094,49	203.362,39	227.348,96
18	283.396,75	253.518,77	276.000,46	260.969,33	269.335,52	265.625,08	279.384,30	283.557,60	273.825,51	279.238,01	271.583,00	303.616,18
19	254.243,50	227.439,09	247.608,07	234.123,20	241.628,76	238.300,02	250.643,81	254.387,80	245.656,86	250.512,57	243.645,04	272.382,94
20	220.344,37	197.113,87	214.593,66	202.906,77	209.411,59	206.526,68	217.224,63	220.469,43	212.902,61	217.110,89	211.159,03	236.065,22
21	186.445,23	166.788,66	181.579,25	171.690,34	177.194,42	174.753,34	183.805,46	186.551,05	180.148,36	183.709,22	178.673,03	199.747,49
22	264.413,24	236.536,65	257.512,39	243.488,13	251.293,90	247.832,01	260.669,56	264.563,31	255.483,13	260.533,07	253.390,84	283.278,26
23	187.801,20	168.001,67	182.899,82	172.939,00	178.483,11	176.024,27	185.142,22	187.907,79	181.458,53	185.045,28	179.972,47	201.200,20
24	221.022,36	197.720,38	215.253,95	203.531,11	210.055,94	207.162,15	217.893,02	221.147,80	213.557,70	217.778,93	211.808,76	236.791,58
25	239.327,88	214.095,99	233.081,73	220.387,97	227.453,20	224.319,75	235.939,37	239.463,72	231.244,99	235.815,83	229.351,20	256.403,14
26	174.919,53	156.478,09	170.354,35	161.076,76	166.240,59	163.950,41	172.442,94	175.018,81	169.011,92	172.352,65	167.627,79	187.399,47
27	239.327,88	214.095,99	233.081,73	220.387,97	227.453,20	224.319,75	235.939,37	239.463,72	231.244,99	235.815,83	229.351,20	256.403,14

Anexo H - Mapas e perímetros dos setores de coleta, em Piracicaba - SPSetor 1

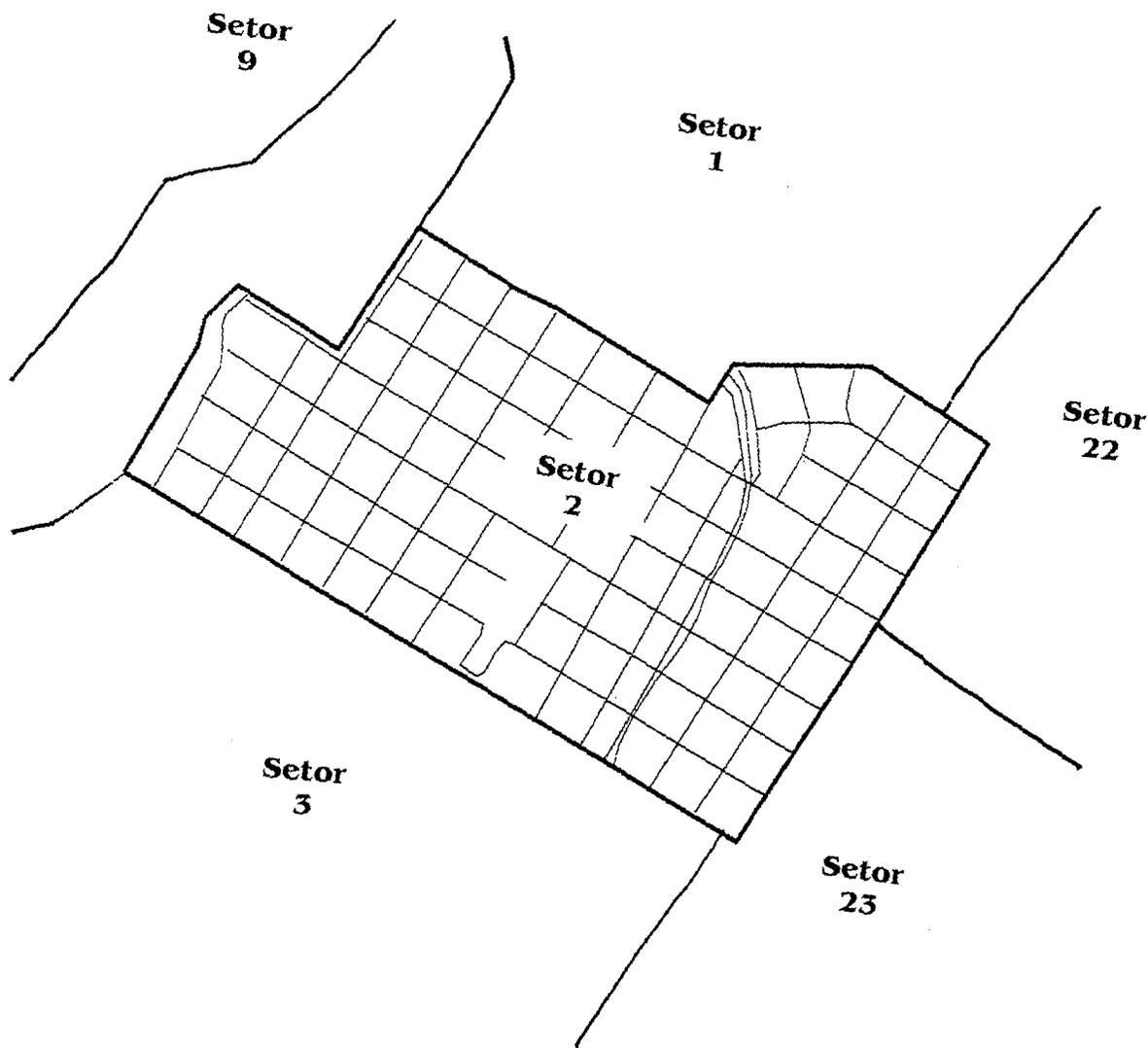
Escala 1:15000

Perímetro - 30,24 km



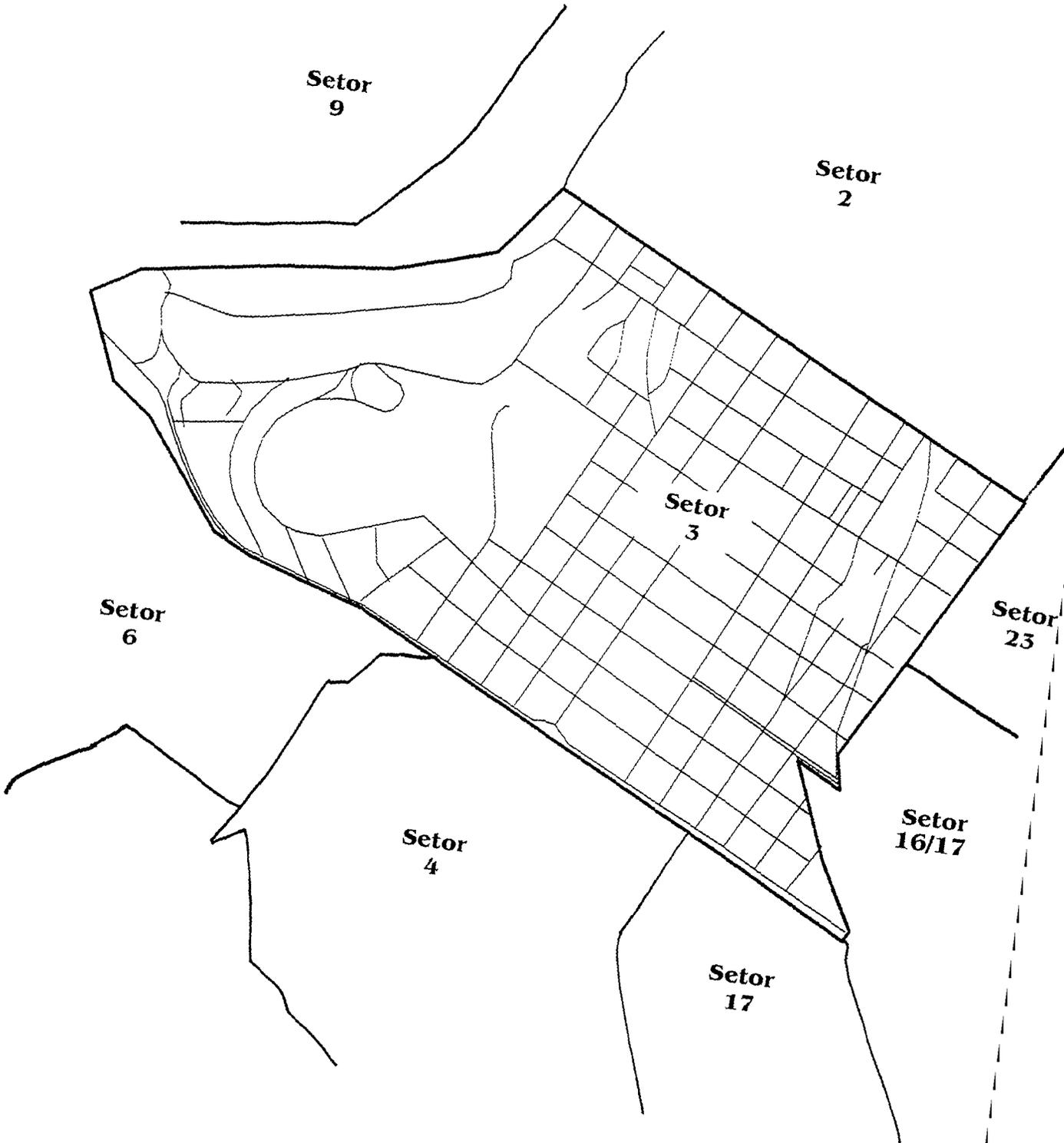
Setor 2
Escala 1:15000

Perímetro - 19,31 km



Setor 3
Escala 1:15000

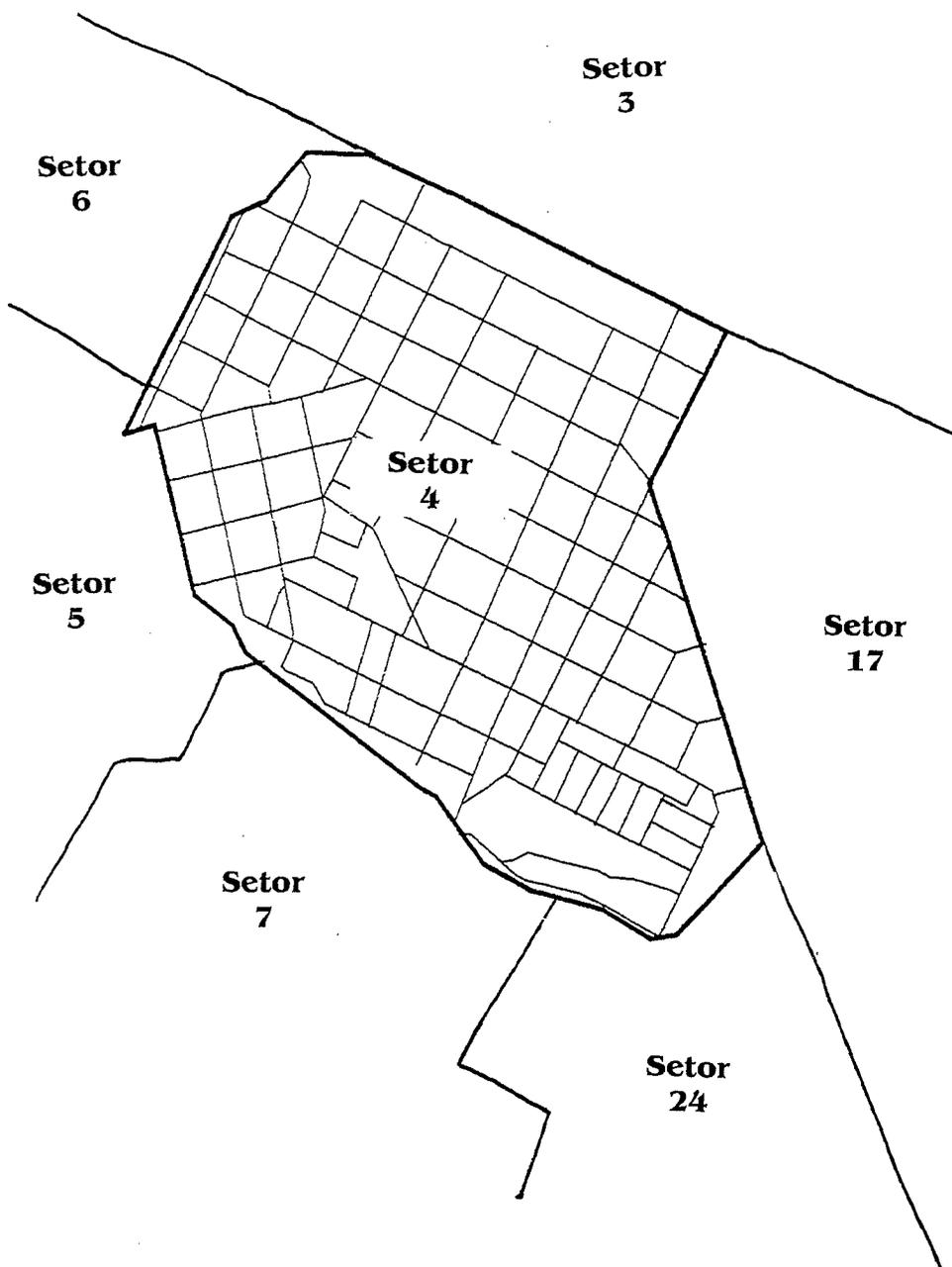
Perímetro - 33,20 km



Setor 4

Escala 1:15000

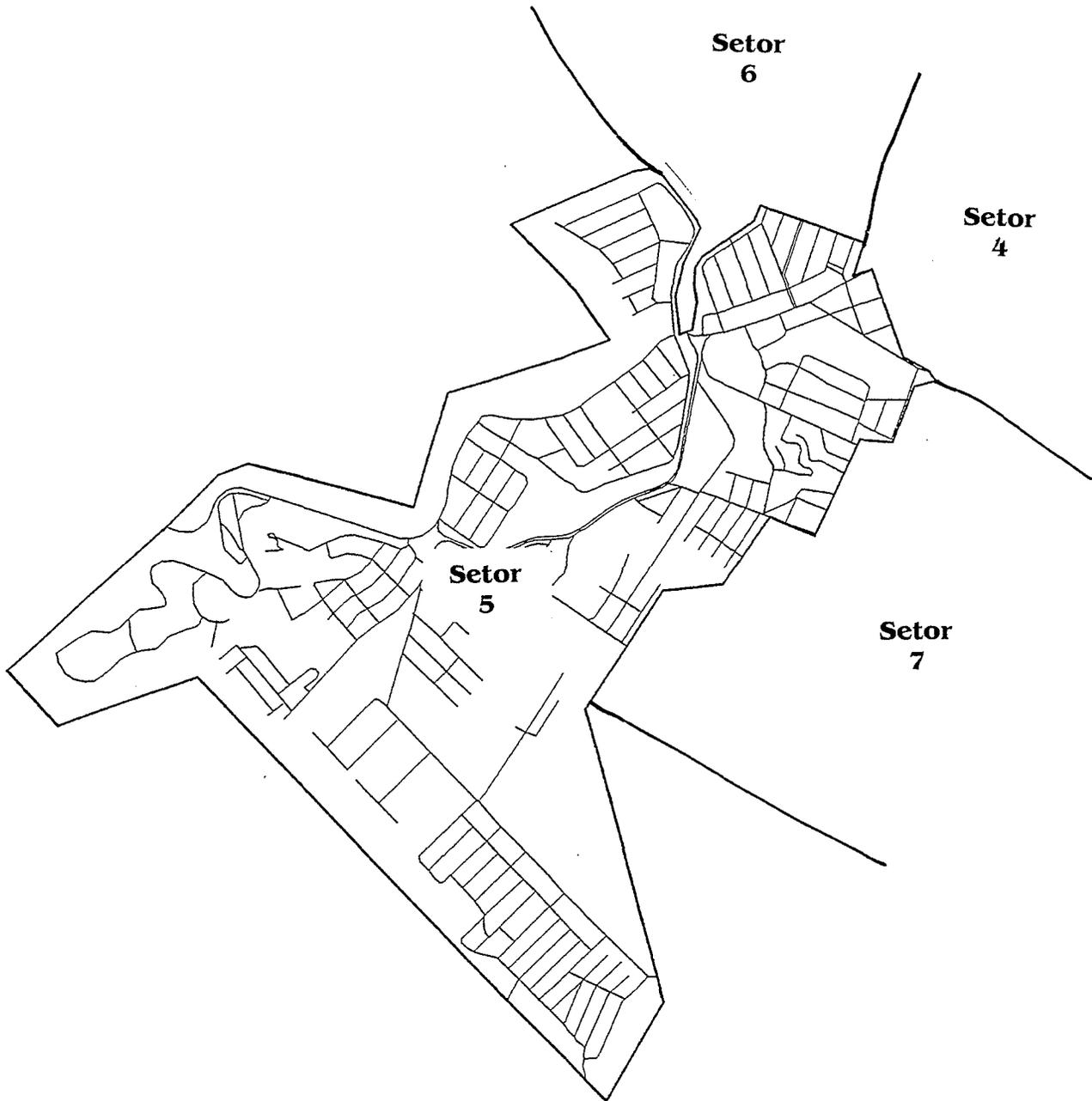
Perímetro - 22,01 km



Setor 5

Escala 1:38000

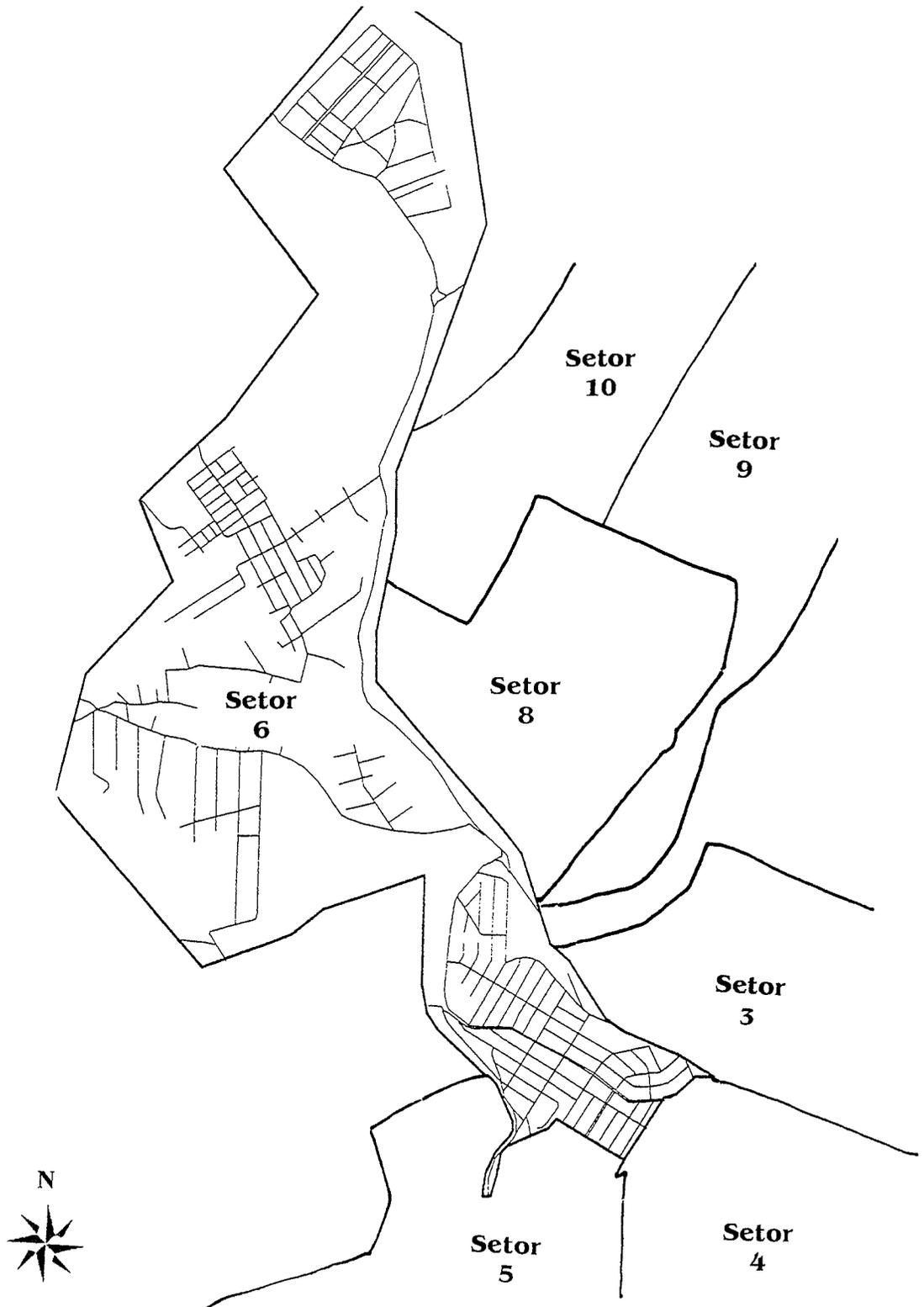
Perímetro - 50,19 km



Setor 6

Escala 1:60000

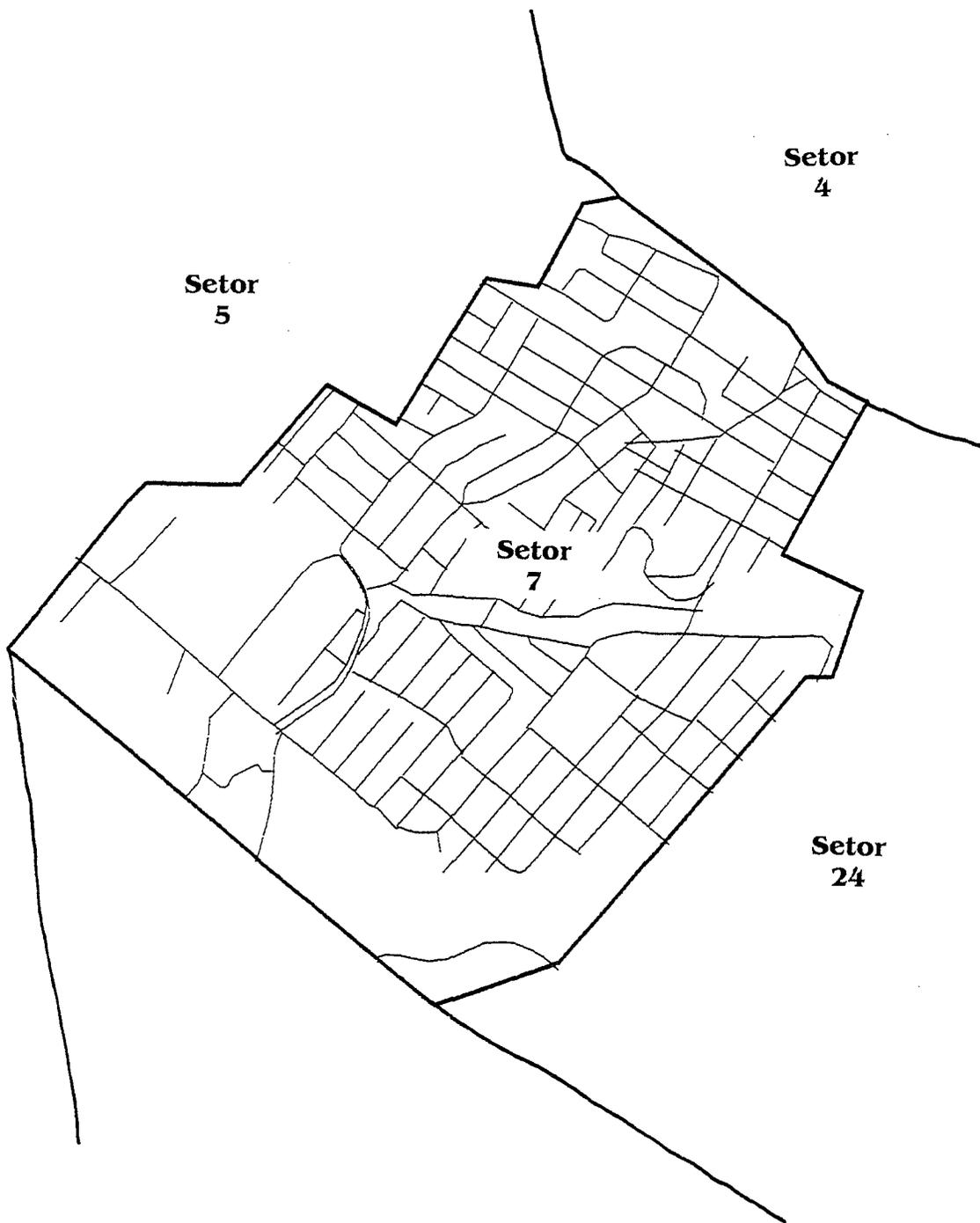
Perímetro - 55,24 km



Setor 7

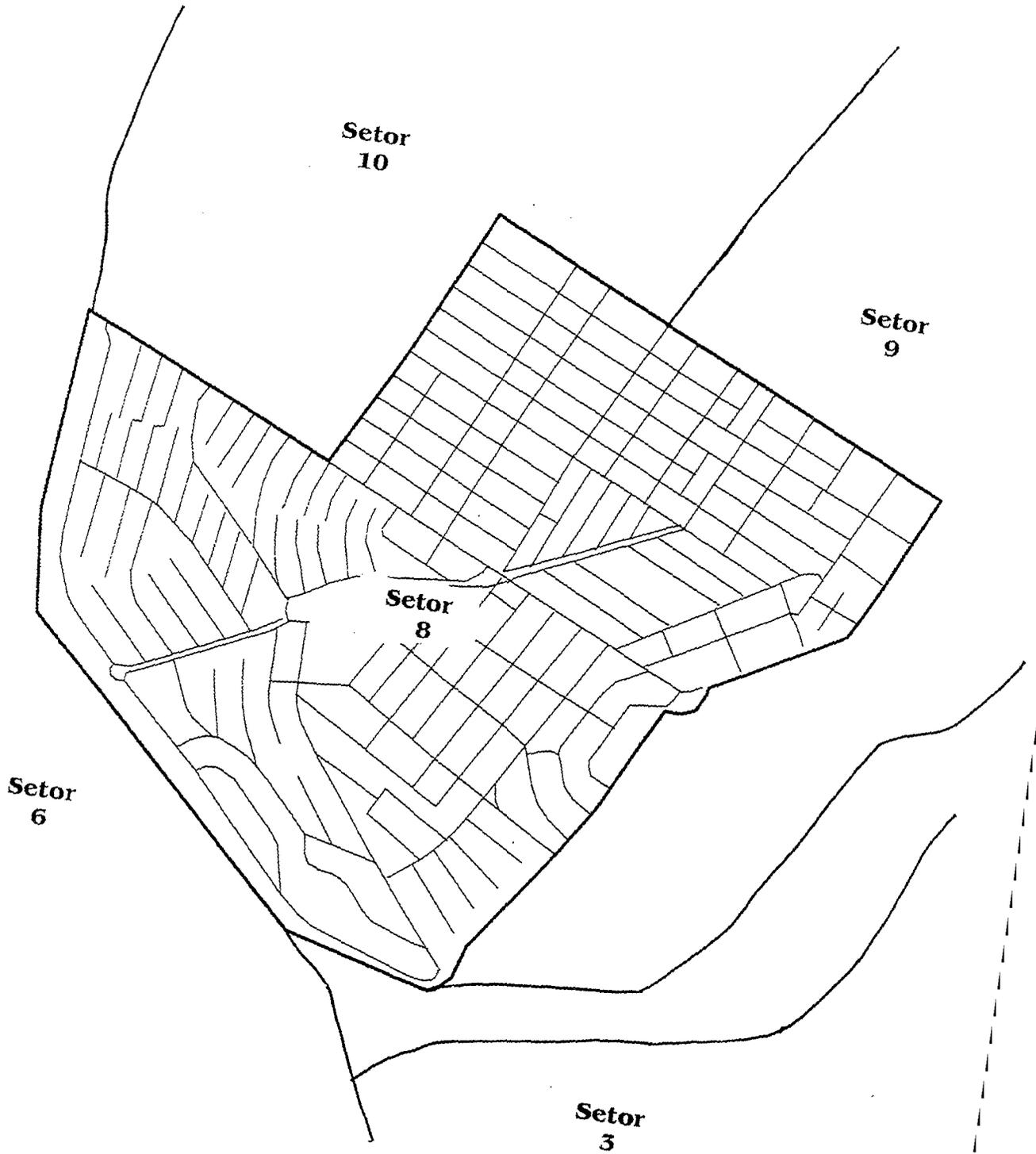
Escala 1:15000

Perímetro - 29,24 km



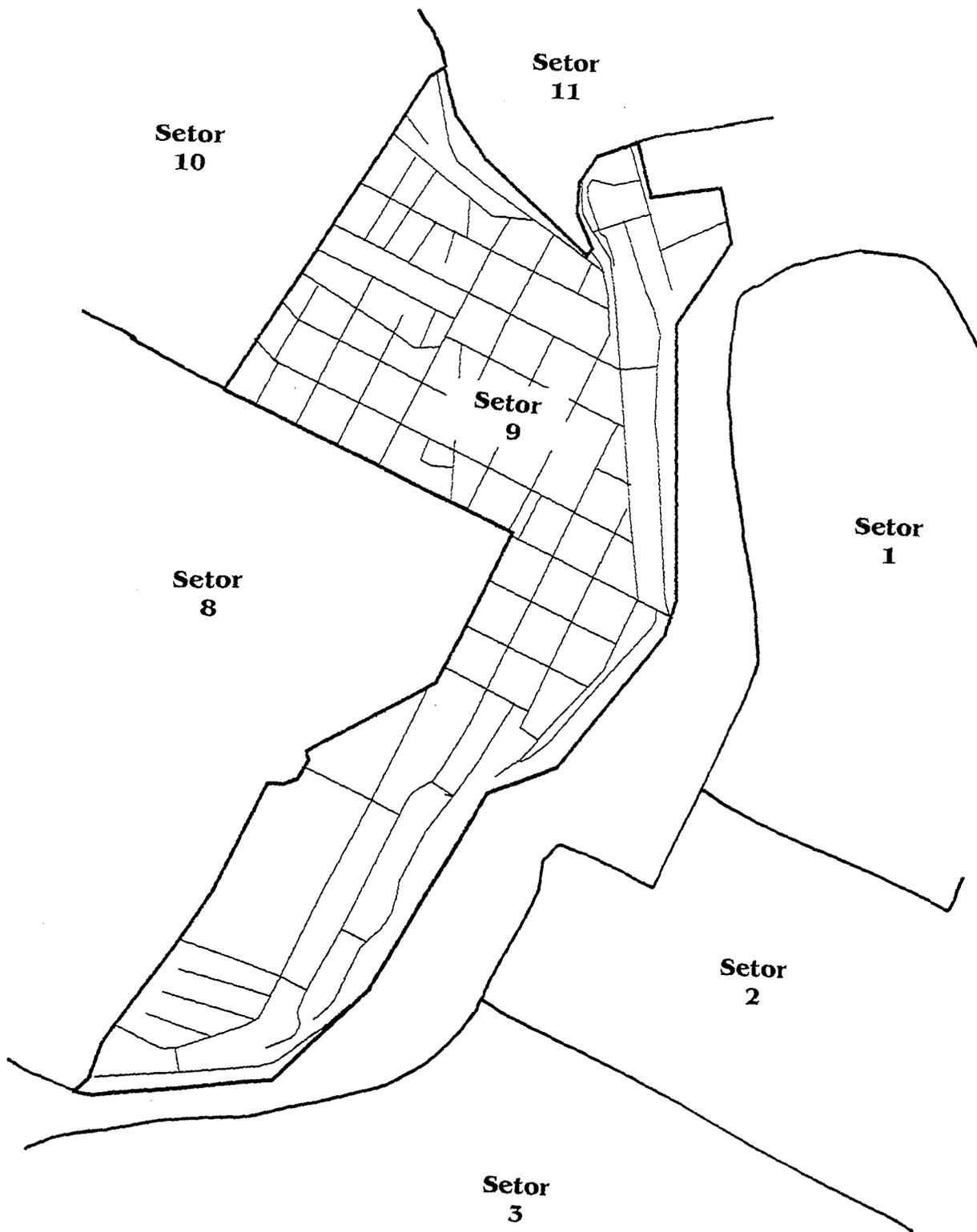
Setor 8
Escala 1:15000

Perimetro - 41,95 km



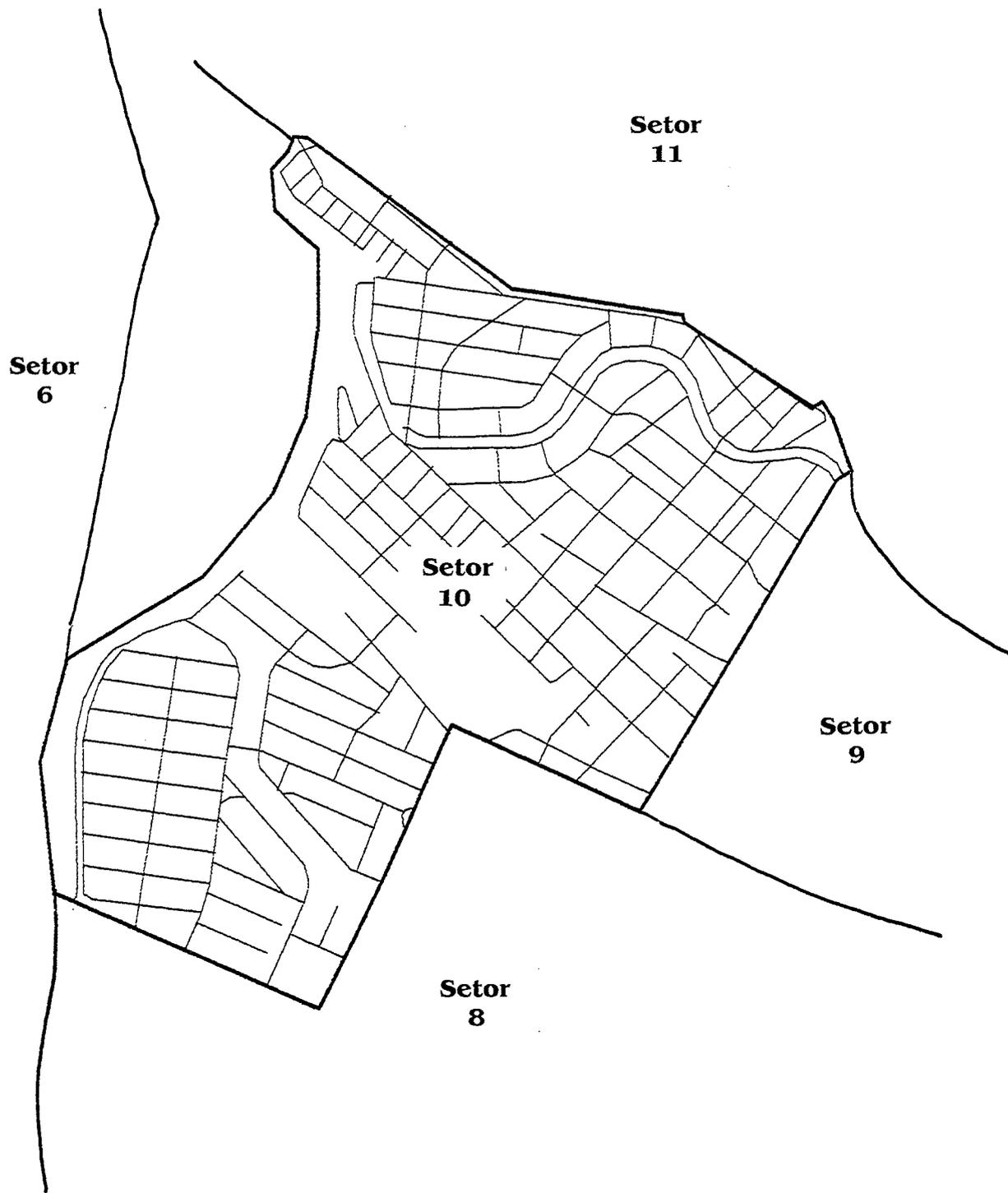
Setor 9
Escala 1:15000

Perímetro - 23,11 km



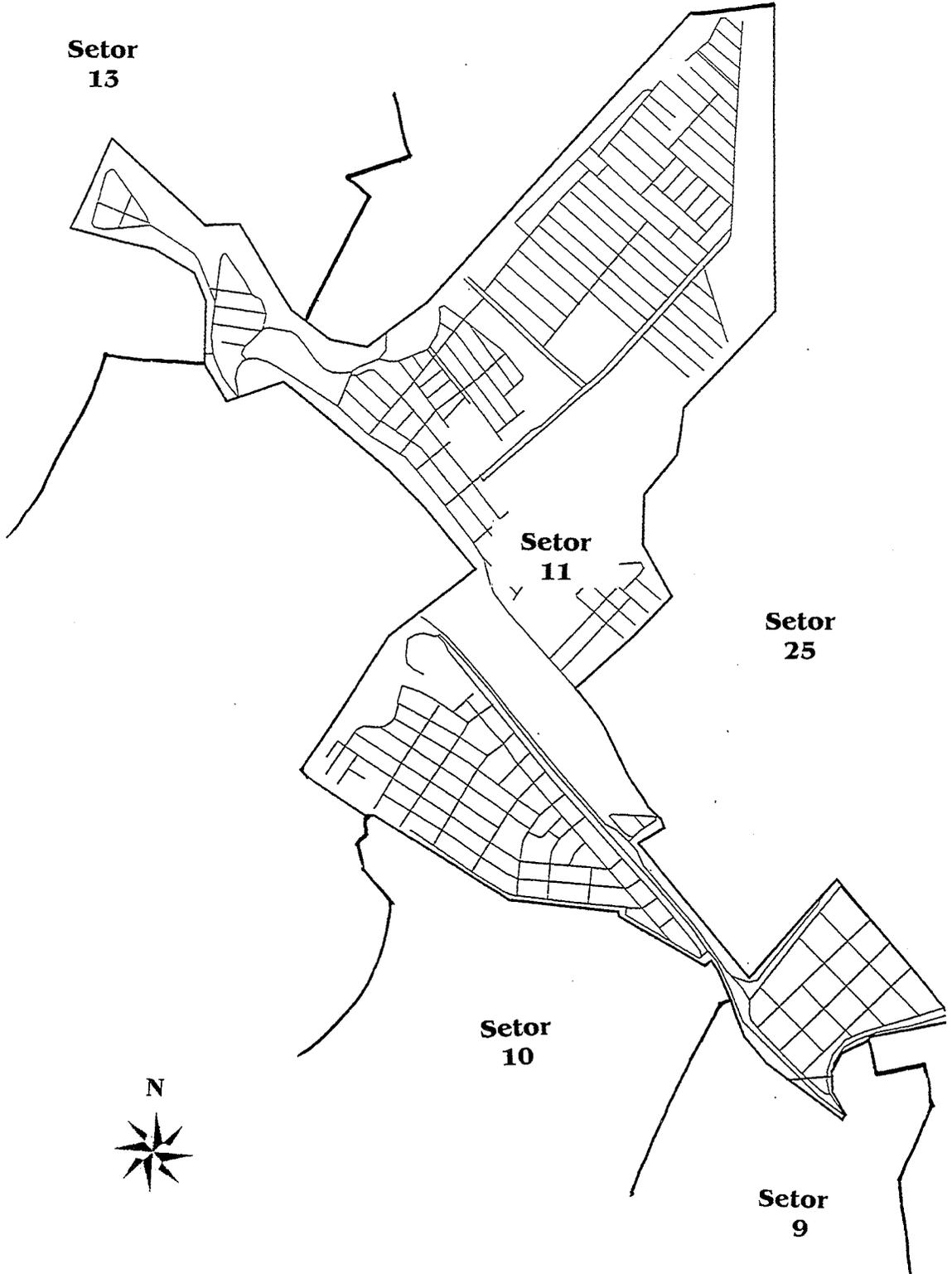
Setor 10
Escala 1:15000

Perímetro - 35,65 km



Setor 11
Escala 1:35000

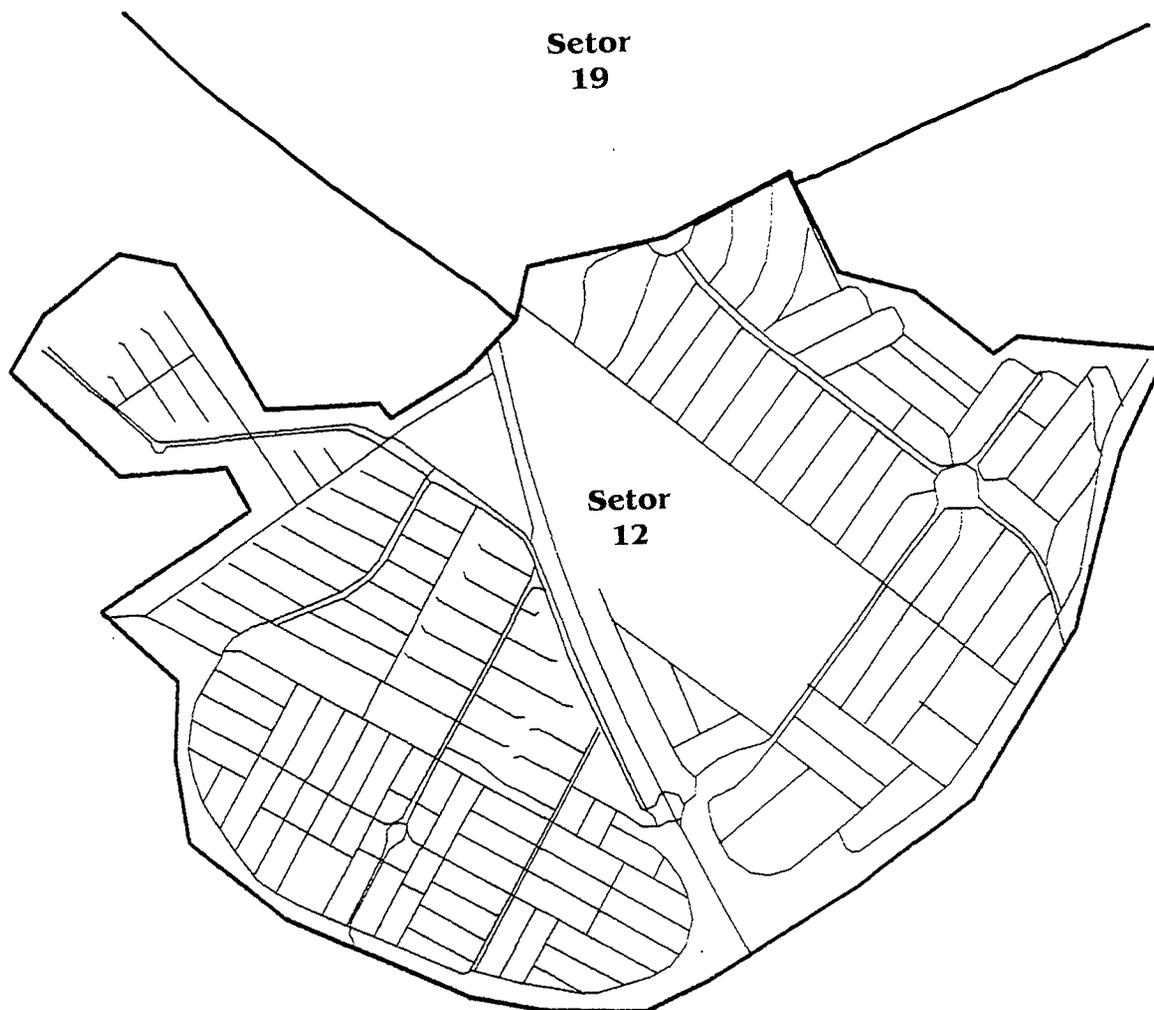
Perímetro - 59,36 km



Setor 12

Escala 1:15000

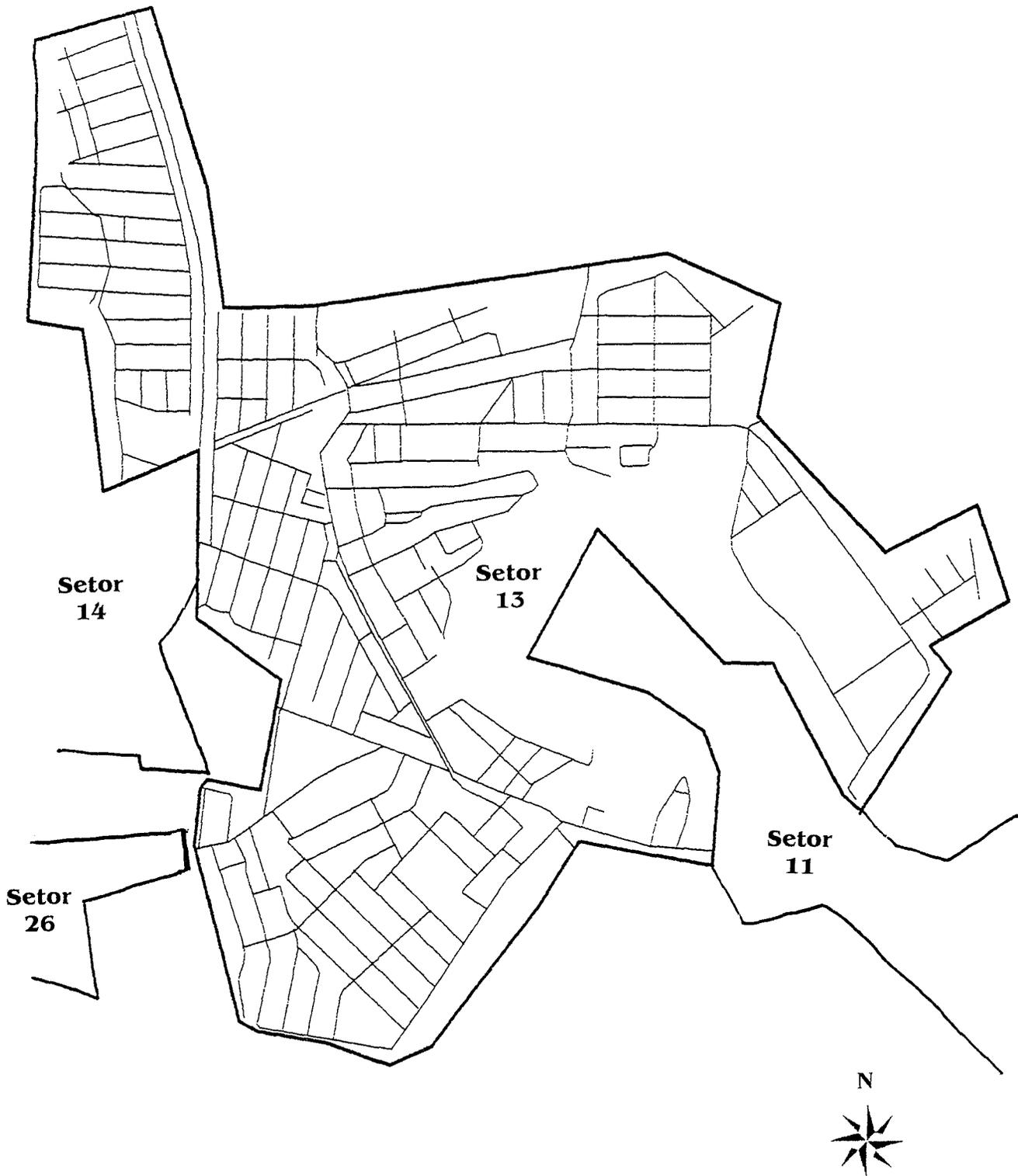
Perímetro - 44,15 km



Setor 13

Escala 1:15000

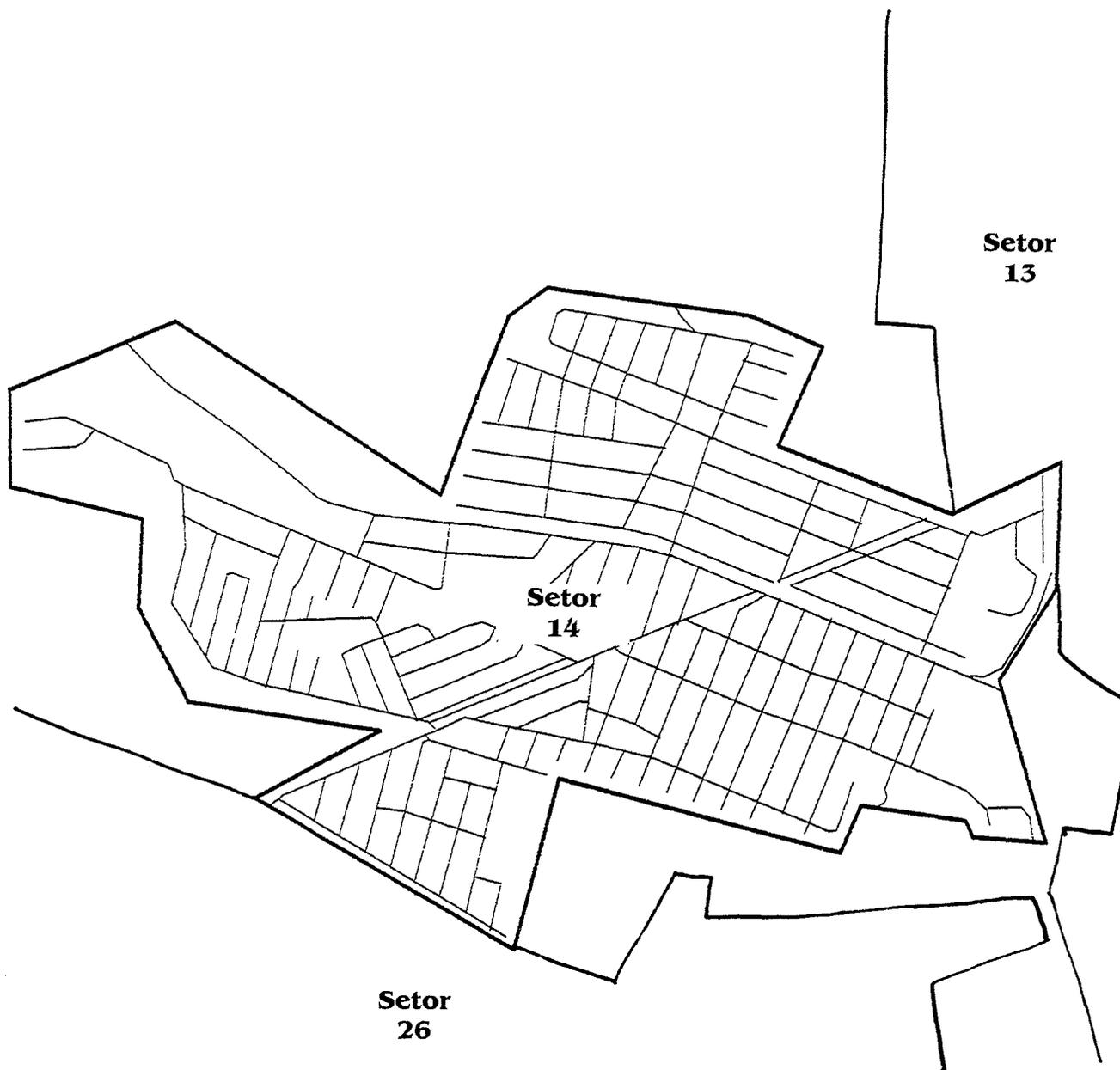
Perímetro - 44,67 km



Setor 14

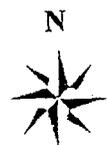
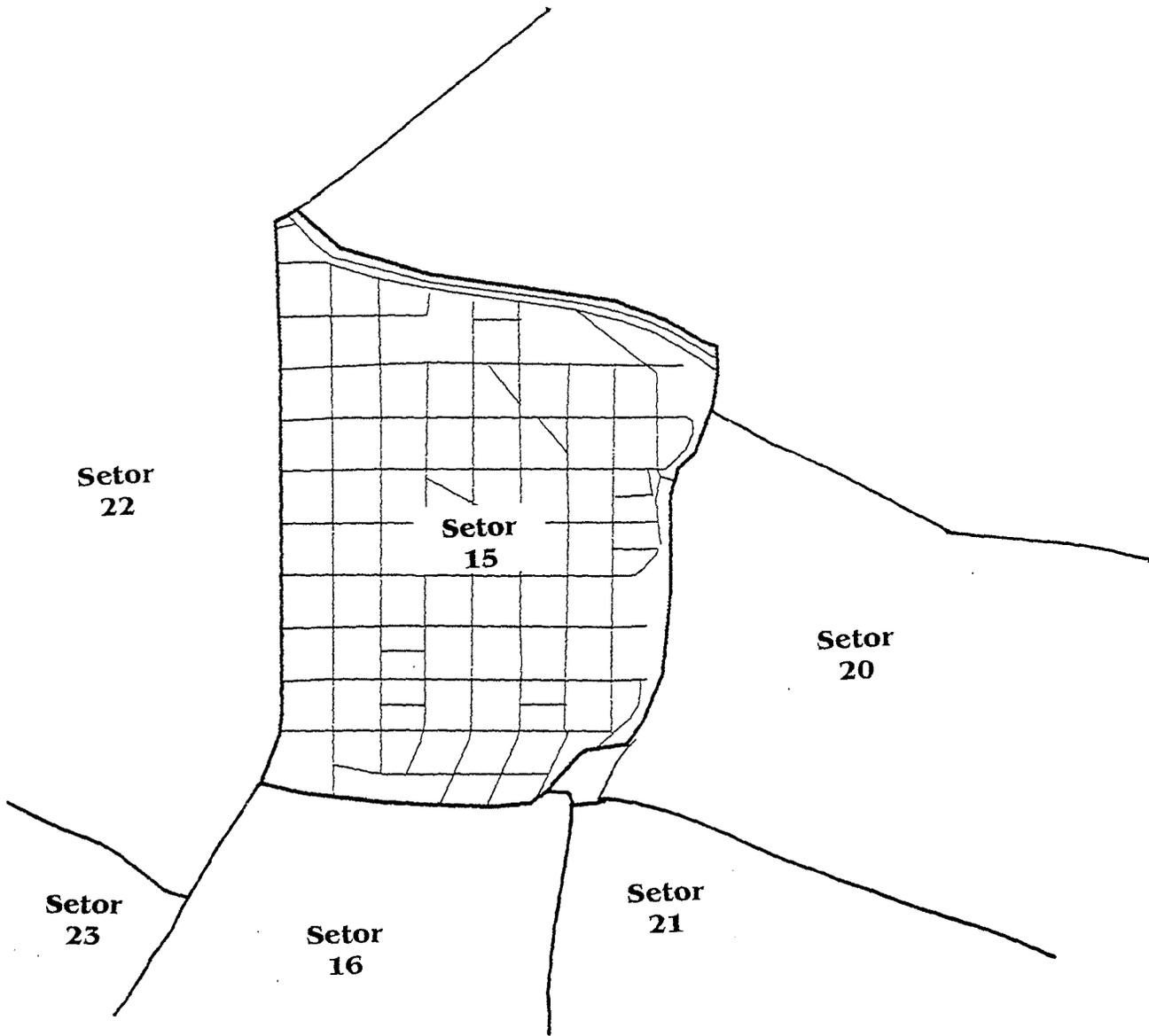
Escala 1:15000

Perímetro - 34,47 km



Setor 15
Escala 1:15000

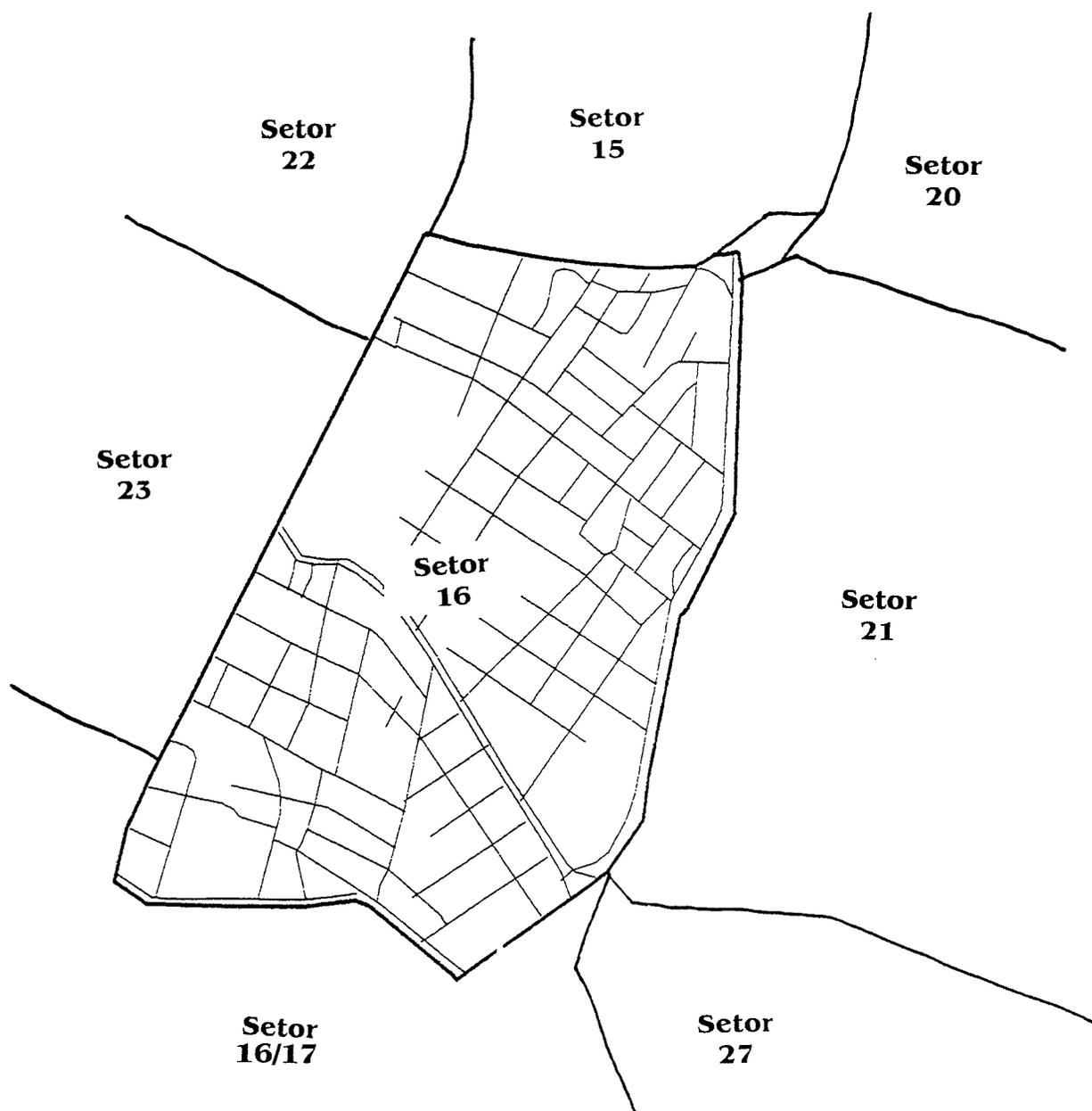
Perímetro - 18,71 km



Setor 16

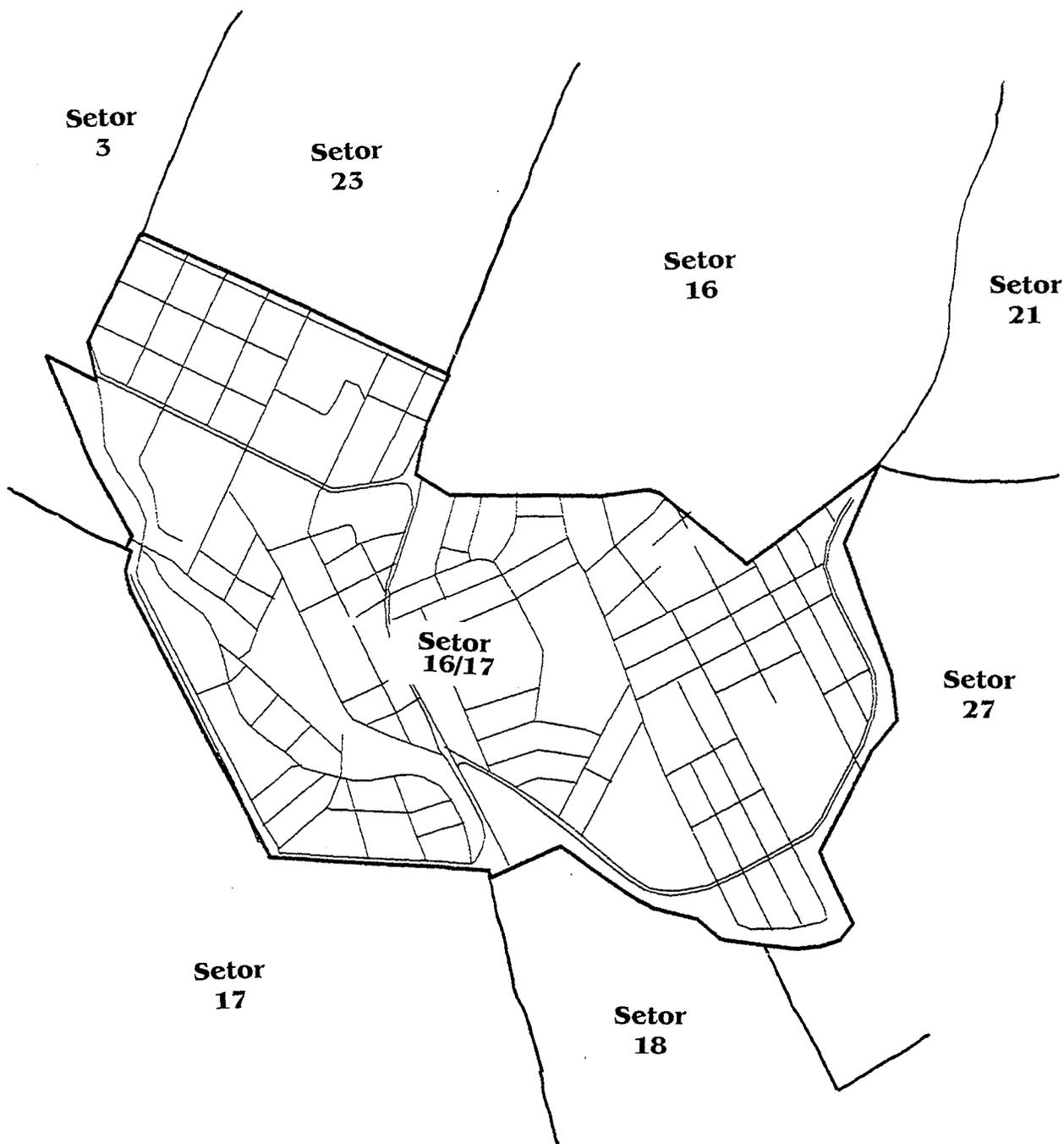
Escala 1:15000

Perímetro - 24,00 km



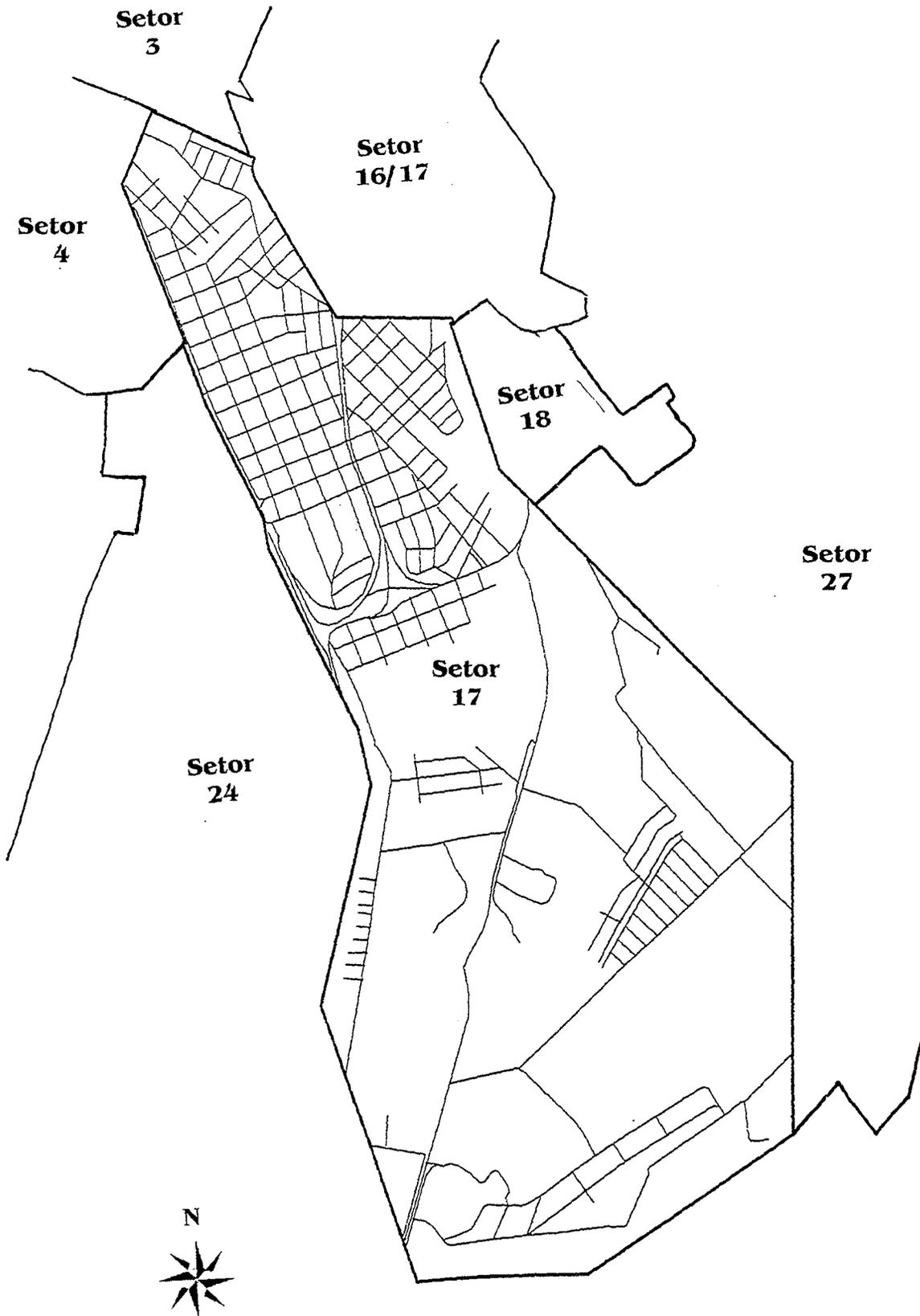
Setor 16/17
Escala 1:15000

Perímetro - 33,21 km



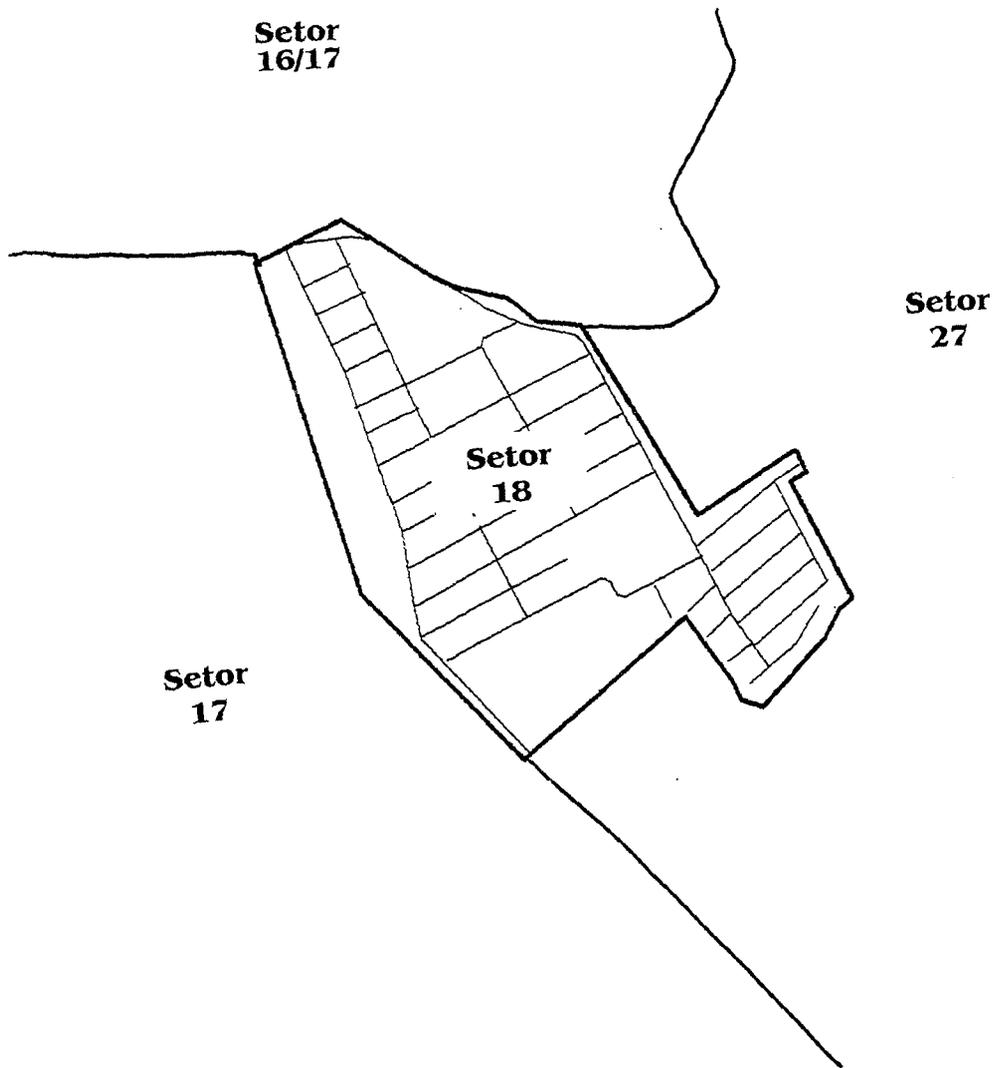
Setor 17
Escala 1:46000

Perimetro - 66,42 km



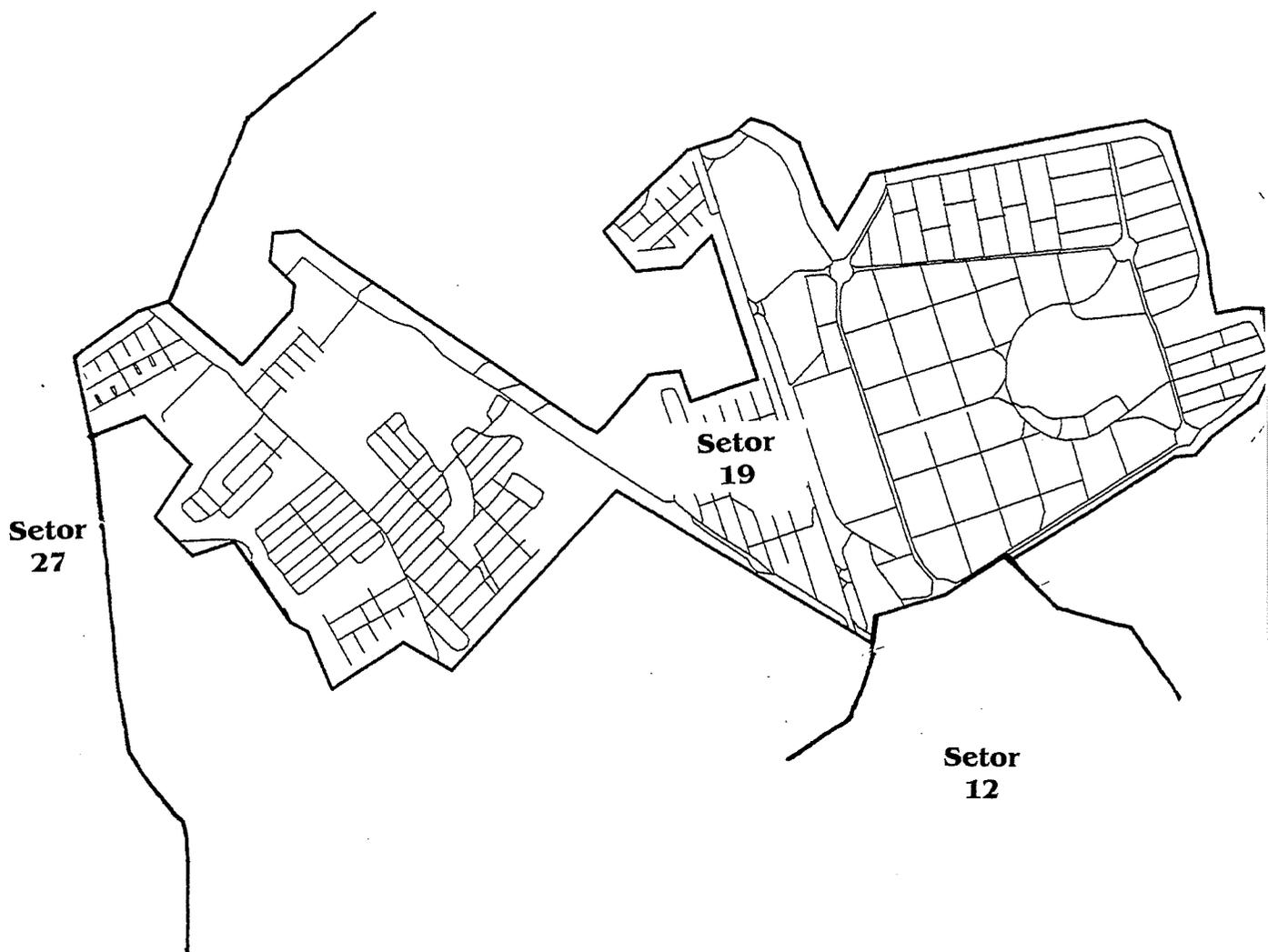
Setor 18
Escala 1:15000

Perímetro - 9,49 km



Setor 19
Escala 1:47000

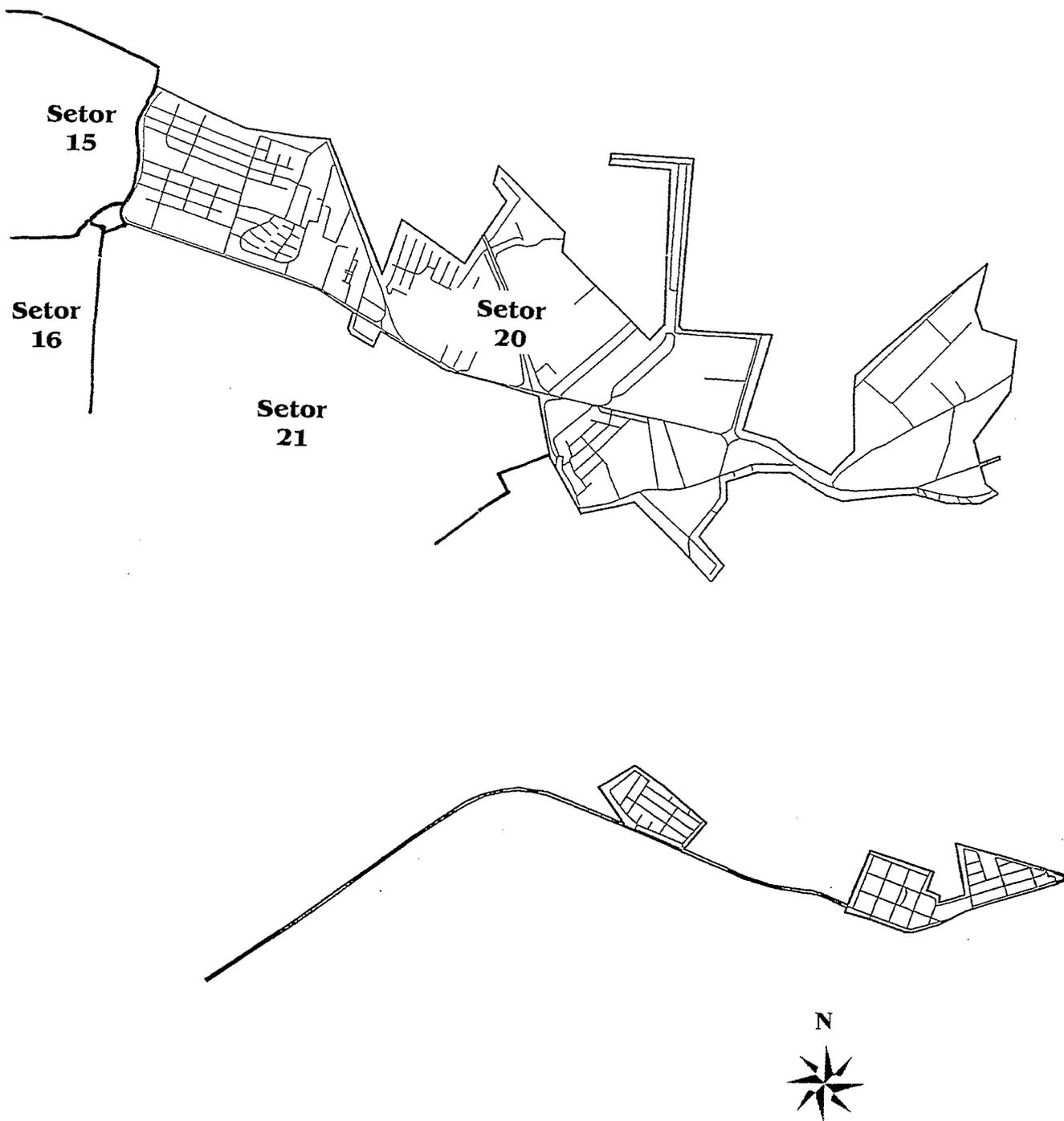
Perímetro - 62,38 km



Setor 20

Escala 1:100000

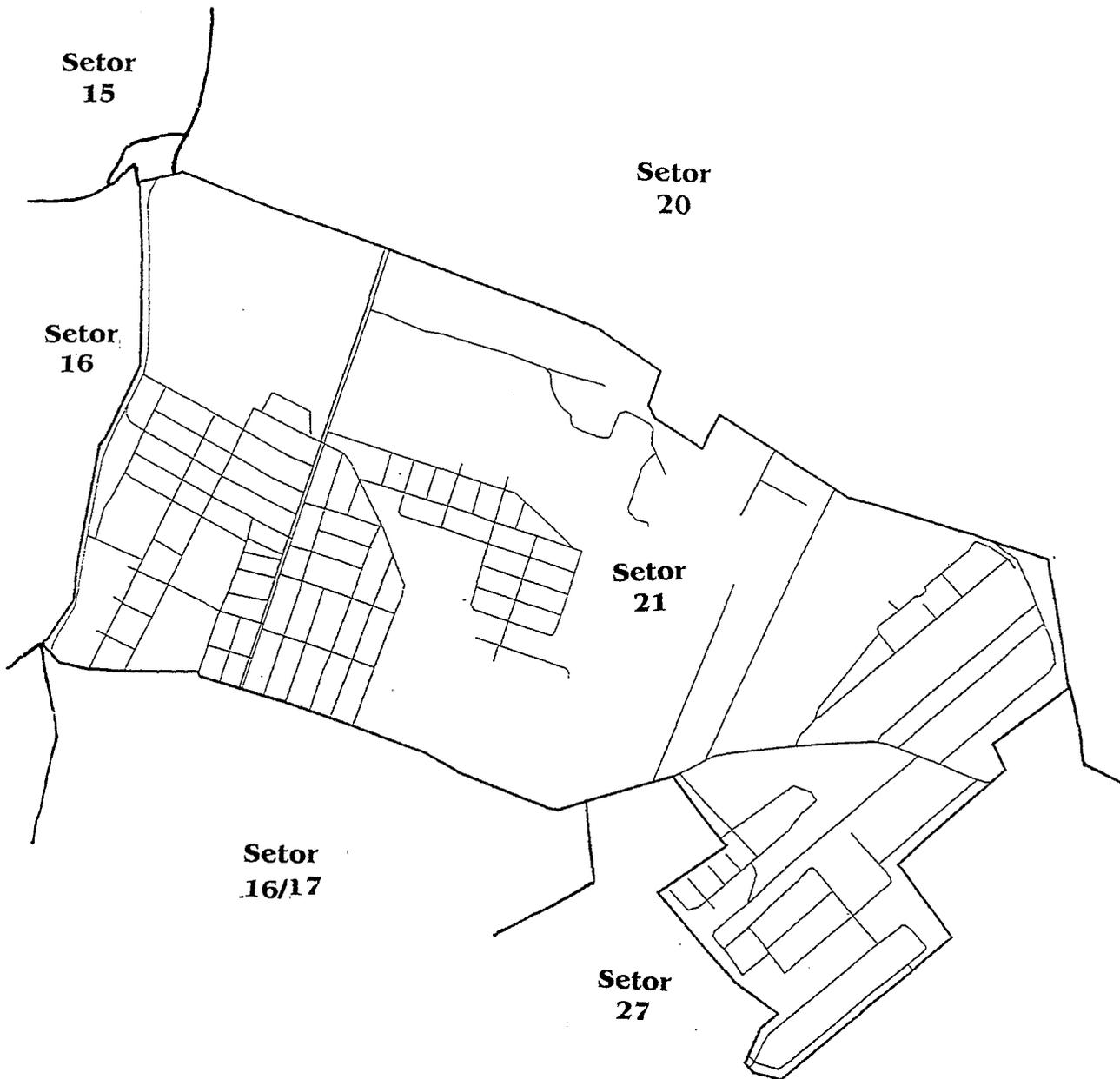
Perimetro - 68,87 km



Setor 21

Escala 1:25000

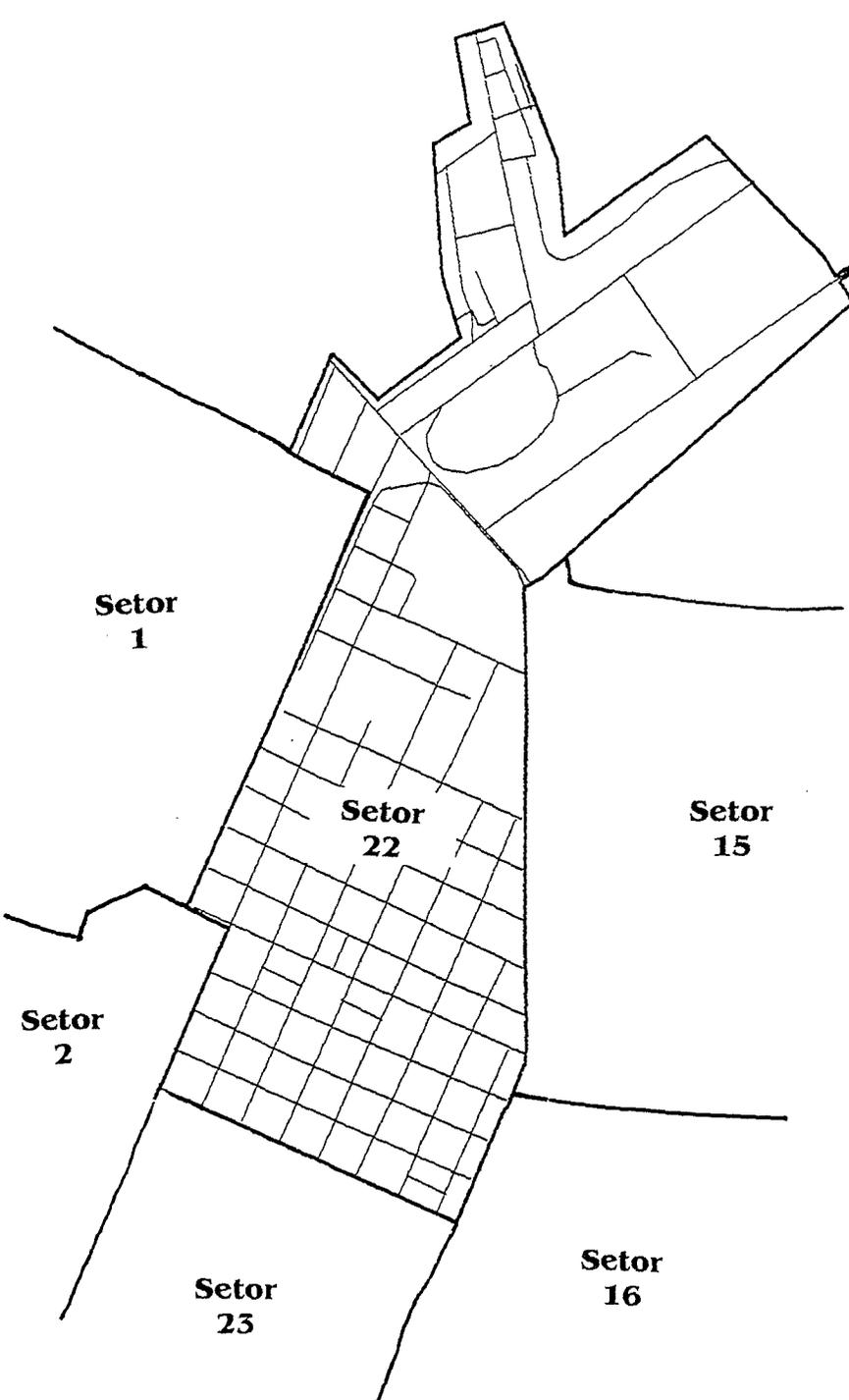
Perímetro - 35,31 km



Setor 22

Escala 1:22000

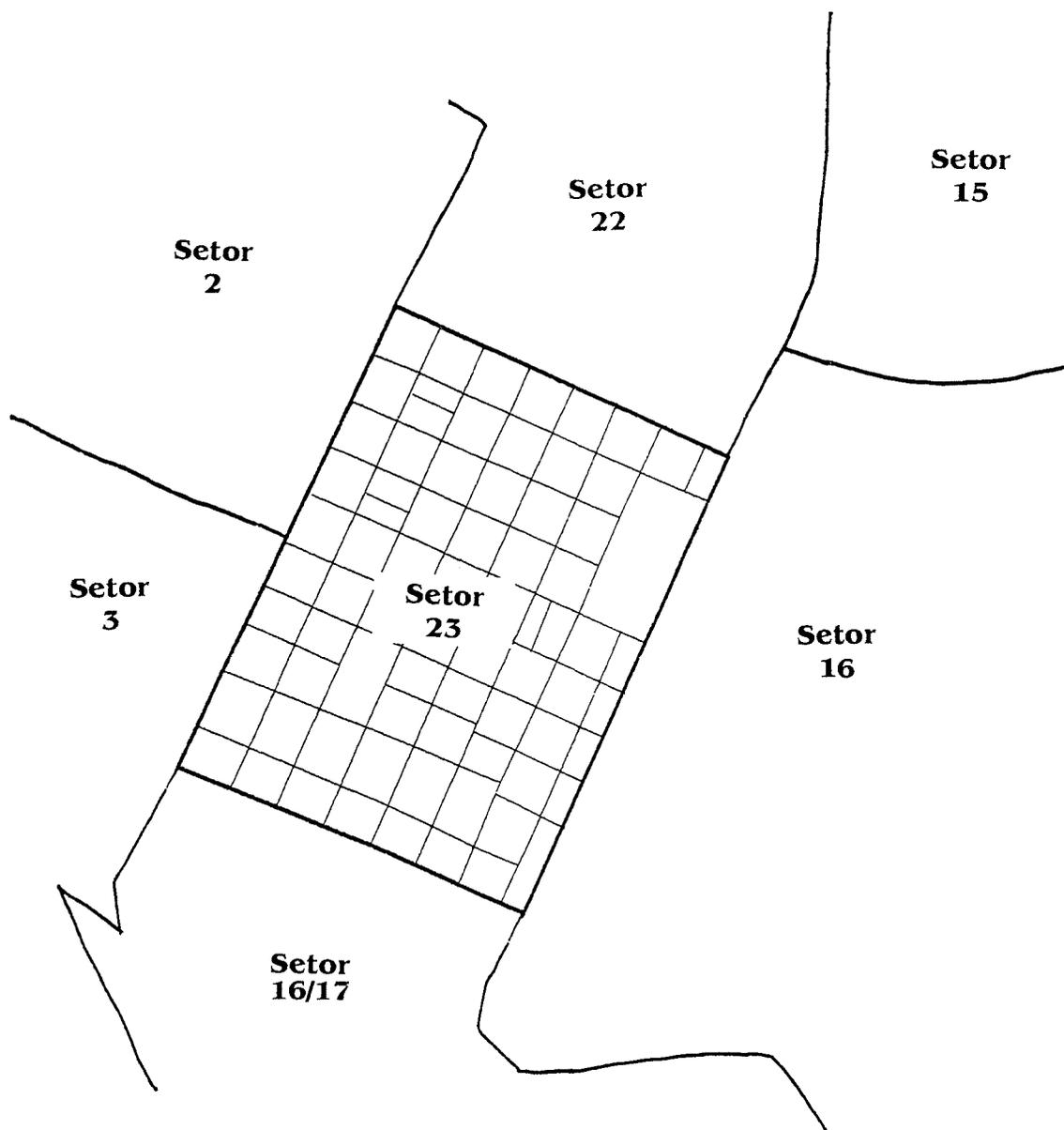
Perímetro - 31,59 km



Setor 23

Escala 1:15000

Perímetro - 13,78 km



Setor 24
Escala 1:33000

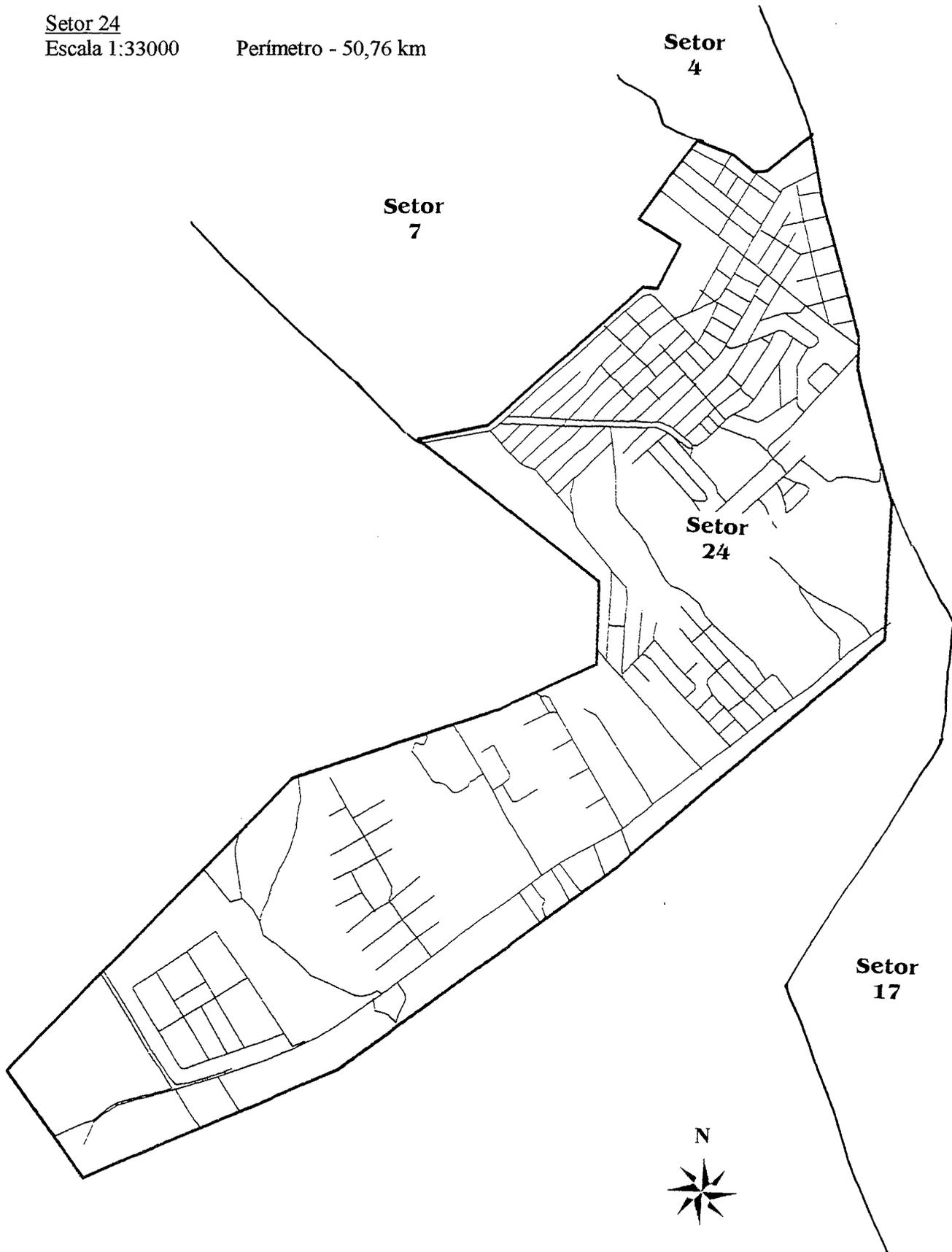
Perímetro - 50,76 km

**Setor
4**

**Setor
7**

**Setor
24**

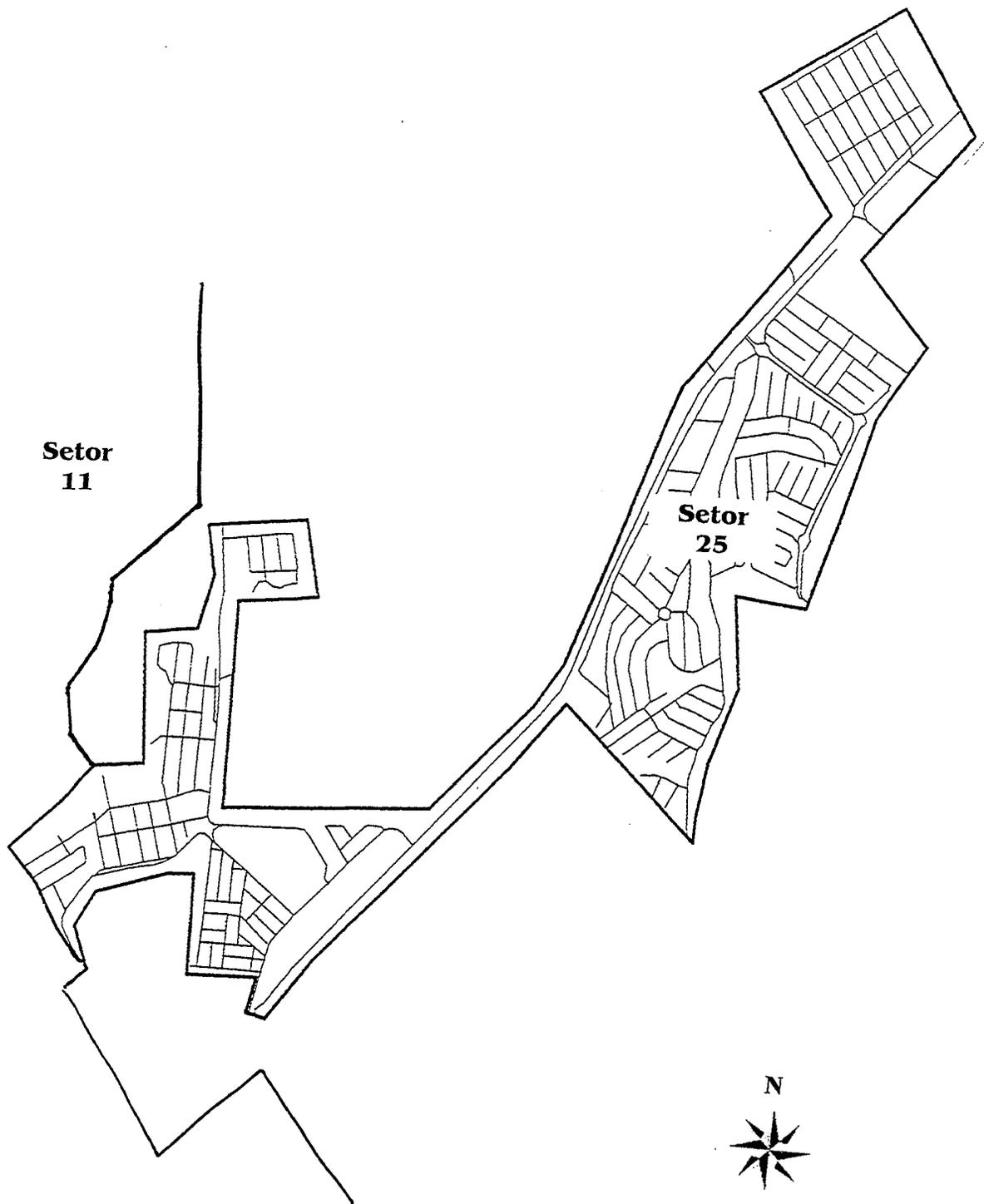
**Setor
17**



Setor 25

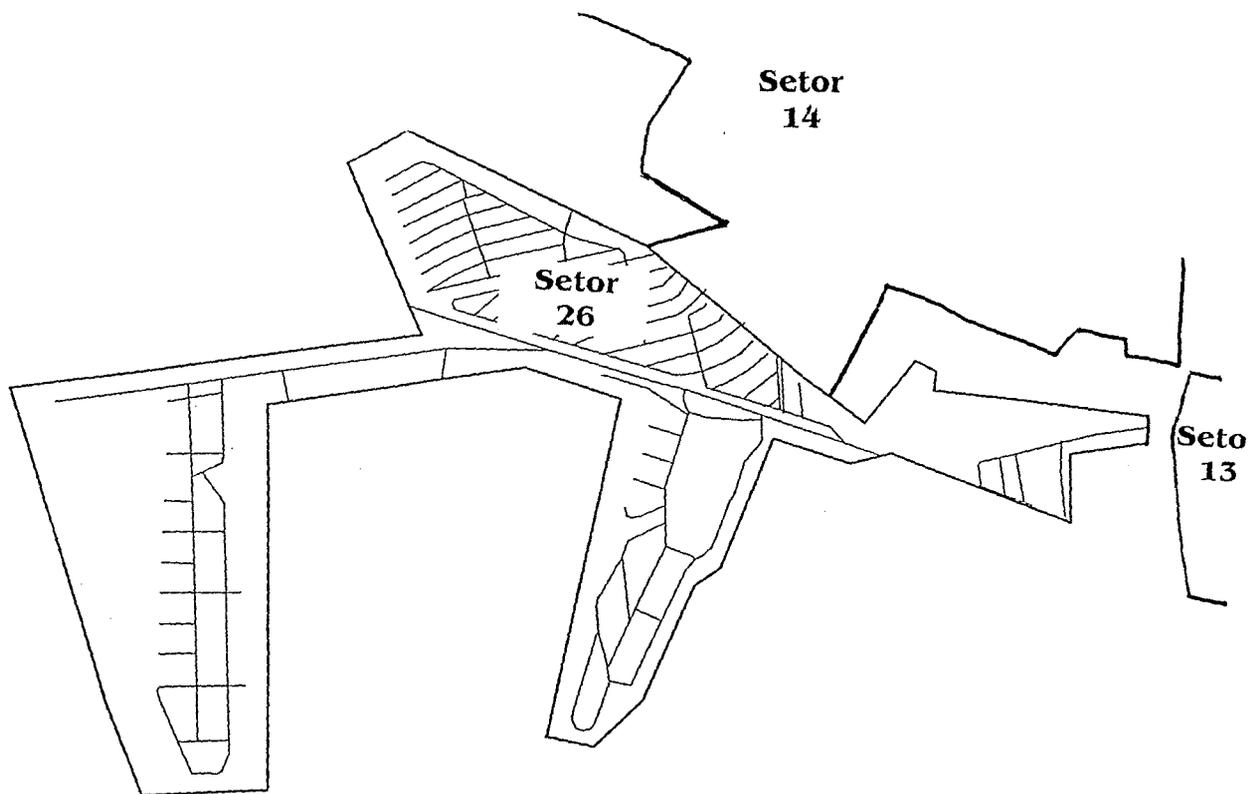
Escala 1:45000

Perímetro - 51,47 km



Setor 26
Escala 1:44000

Perímetro - 26,42 km



Setor 27
Escala 1:15000

Perímetro - 34,39 km

**Setor
16**

**Setor
21**

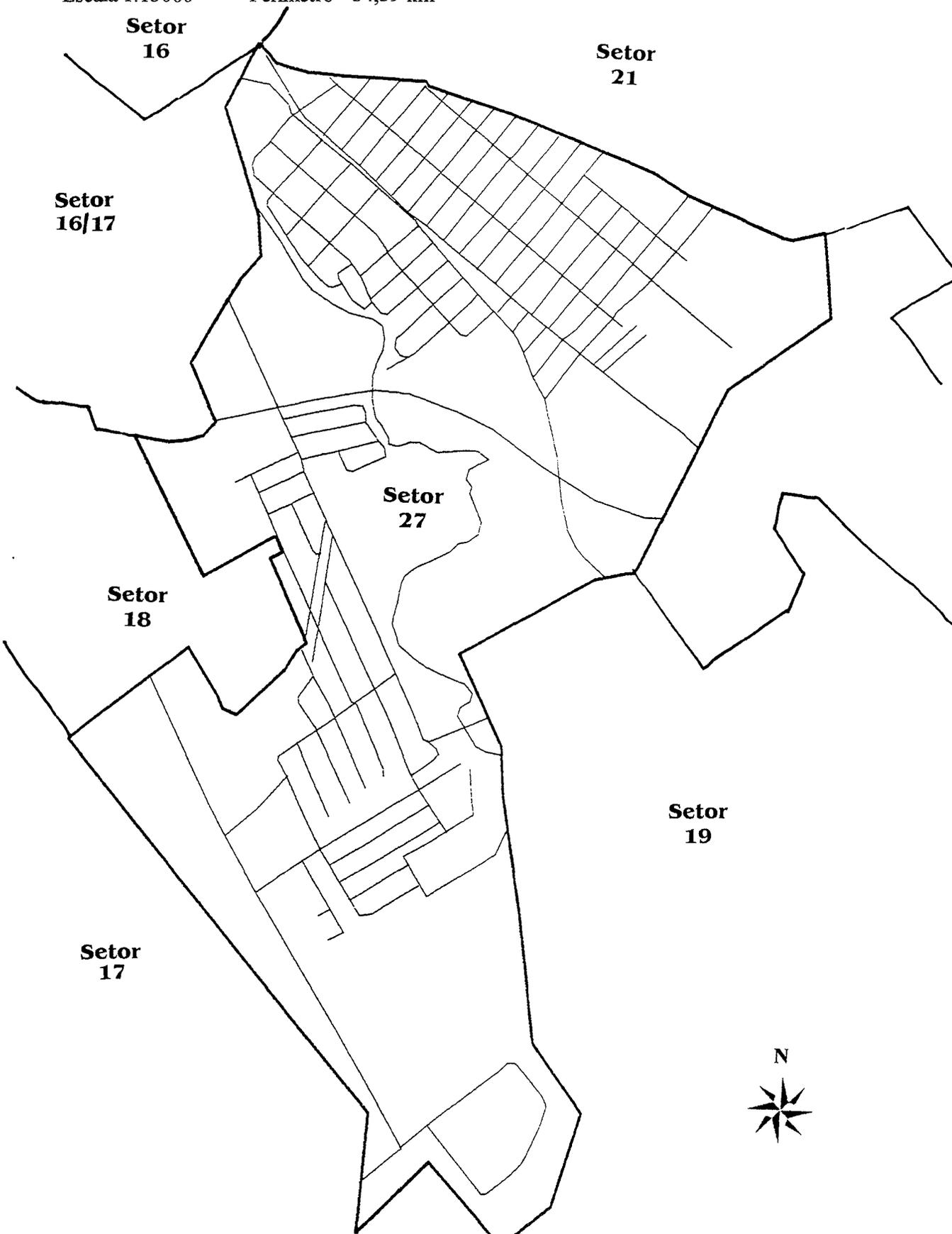
**Setor
16/17**

**Setor
27**

**Setor
18**

**Setor
19**

**Setor
17**



Anexo I - Dados referentes ao percurso dos caminhões coletores por setor

Setor 1 ⁴⁶		Dia 4 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	31	02:50	7.360	
2ª viagem	33	02:45	6.480	
3ª viagem	37	02:45	3.550	
Totais diários	101	08:20	17.390	
Totais mensais	2.626	33:20	452.140	
Densidade	(em kg/km)			
1ª viagem	237,42			
2ª viagem	196,36			
3ª viagem	95,95			
Média	172,18			
Custo/km	(em R\$)			
	2,90			

Setor 1		Dia 5 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	42	03:41	6.620	
2ª viagem	42	02:39	2.620	
Totais diários	84	06:20	9.240	
Totais mensais	2.184	152:00	240.240	
Densidade	(em kg/km)			
1ª viagem	157,62			
2ª viagem	62,38			
Média	110			
Custo/km	(em R\$)			
	3,48			

⁴⁶ Nos setores 1, 2 e 3, os totais mensais dos quadros dos dias 04 de setembro correspondem aos totais diários multiplicados por quatro (segundas-feiras). Os totais mensais dos quadros dos dias 05 de setembro correspondem aos totais diários multiplicados por 22 dias (terças a sábados). O total geral mensal de cada um desses setores é a soma dos totais mensais dos quadros dos dias 04 e 05 de setembro.

Setor 2		Dia 4 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	23	03:40	7710	
2ª viagem	28	02:27	7220	
3ª viagem	34	02:23	5160	
Totais diários	85	8:30	20.090	
Totais mensais	2210	34:00	522.340	
Densidade	(em kg/km)			
1ª viagem	335,22			
2ª viagem	257,86			
3ª viagem	151,76			
Média	236,35			
Custo/km	(em R\$)			
	3,44			

Setor 2		Dia 5 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	33	04:40	7530	
2ª viagem	35	02:15	4230	
Totais diários	68	06:55	11.760	
Totais mensais	1768	152:10	305.760	
Densidade	(em kg/km)			
1ª viagem	228,18			
2ª viagem	120,86			
Média	172,94			
Custo/km	(em R\$)			
	4,30			

Setor 3		Dia 4 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	23	02:29	7250	
2ª viagem	29	02:54	7390	
3ª viagem	41	02:42	5060	
Totais diários	93	08:05	19.700	
Totais mensais	2418	32:20	512.200	
Densidade	(em kg/km)			
1ª viagem	315,22			
2ª viagem	254,83			
3ª viagem	123,41			
Média	211,83			
Custo/km	(em R\$)			
	3,14			

Setor 3		Dia 5 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	28	03:16	6700	
2ª viagem	45	03:24	5120	
Totais diários	73	06:40	11.820	
Totais mensais	1898	146:40	307.320	
Densidade	(em kg/km)			
1ª viagem	239,29			
2ª viagem	113,78			
Média	161,92			
Custo/km	(em R\$)			
	4,01			

Setor 4		Dia 4 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	26	03:12	8810	
2ª viagem	26	02:56	8550	
3ª viagem	35	03:04	8280	
Totais diários	87	09:12	25.640	
Totais mensais	1131	119:36	333.320	
Densidade (em kg/km)				
1ª viagem	338,85			
2ª viagem	328,85			
3ª viagem	236,57			
Média	294,71			
Custo/km (em R\$)				
	7,47			

Setor 5		Dia 4 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	23	03:00	8.950	
2ª viagem	38	03:33	9.040	
3ª viagem	43	03:37	8.800	
Totais diários	104	10:10	26.790	
Totais mensais	1352	132:10	348.270	
Densidade (em kg/km)				
1ª viagem	389,13			
2ª viagem	237,89			
3ª viagem	251,43			
Média	257,60			
Custo/km (em R\$)				
	6,25			

Setor 6		Dia 4 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	27	02:30	7520	
2ª viagem	33	02:23	7920	
3ª viagem	95	05:42	7190	
Totais diários	155	10:35	22.630	
Totais mensais	2015	137:35	294.190	
Densidade (em kg/km)				
1ª viagem	278,52			
2ª viagem	240,00			
3ª viagem	75,68			
Média	99,61			
Custo/km (em R\$)				
	4,19			

Setor 7		Dia 4 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	23	02:40	8010	
2ª viagem	19	02:43	8570	
3ª viagem	31	03:37	8580	
Totais diários	73	09:00	25.160	
Totais mensais	949	117:00	327.080	
Densidade (em kg/km)				
1ª viagem	348,26			
2ª viagem	451,05			
3ª viagem	276,77			
Média	344,66			
Custo/km (em R\$)				
	8,91			

Setor 8		Dia 4 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	34	02:32	5540	
2ª viagem	34	02:31	6970	
3ª viagem	45	03:47	7080	
Totais diários	113	08:50	19.590	
Totais mensais	1469	114:50	254.670	
Densidade	(em kg/km)			
1ª viagem	162,94			
2ª viagem	205,00			
3ª viagem	157,33			
Média	173,36			
Custo/km	(em R\$)			
	5,75			

Setor 9		Dia 4 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	39	03:25	9470	
2ª viagem	62	03:44	8640	
3ª viagem				
Totais diários	101	07:09	18.110	
Totais mensais	1313	92:57	235.430	
Densidade	(em kg/km)			
1ª viagem	242,82			
2ª viagem	139,35			
3ª viagem				
Média	179,31			
Custo/km	(em R\$)			
	5,79			

Setor 10		Dia 5 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	32	03:40	10520	
2ª viagem	51	03:20	8150	
3ª viagem				
Totais diários	83	07:00	18.670	
Totais mensais	1079	91:00	242.710	
Densidade (em kg/km)				
1ª viagem	328,75			
2ª viagem	159,80			
3ª viagem				
Média	224,94			
Custo/km (em R\$)				
	7,05			

Setor 11		Dia 4 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	44	03:45	7.510	
2ª viagem	50	04:24	9.920	
3ª viagem	50	03:21	7.660	
Totais diários	144	11:30	25.090	
Totais mensais	1872	149:30	326.170	
Densidade (em kg/km)				
1ª viagem	170,68			
2ª viagem	198,40			
3ª viagem	153,20			
Média	174,24			
Custo/km (em R\$)				
	4,52			

Setor 12		Dia 5 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	42	02:57	8240	
2ª viagem	43	03:02	5970	
3ª viagem	58	04:36	8680	
Totais diários	143	10:35	22.890	
Totais mensais	1859	137:35	297.570	
Densidade	(em kg/km)			
1ª viagem	196,19			
2ª viagem	138,84			
3ª viagem	149,66			
Média	160,07			
Custo/km	(em R\$)			
	4,55			

Setor 13		Dia 5 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	42	03:38	8.410	
2ª viagem	41	03:32	9.390	
3ª viagem	49	03:40	9.860	
Totais diários	132	10:50	27.660	
Totais mensais	1716	140:50	359.580	
Densidade	(em kg/km)			
1ª viagem	200,24			
2ª viagem	229,02			
3ª viagem	201,22			
Média	209,55			
Custo/km	(em R\$)			
	4,93			

Setor 14		Dia 5 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	78	04:44	8310	
2ª viagem	44	03:08	8480	
3ª viagem	50	03:58	7490	
Totais diários	172	11:50	24.280	
Totais mensais	2236	153:50	315.640	
Densidade	(em kg/km)			
1ª viagem	106,54			
2ª viagem	192,73			
3ª viagem	149,80			
Média	141,16			
Custo/km	(em R\$)			
	3,78			

Setor 15		Dia 5 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	34	02:57	9120	
2ª viagem	55	04:03	7230	
3ª viagem				
Totais diários	89	07:00	16.350	
Totais mensais	1157	91:00	212.550	
Densidade	(em kg/km)			
1ª viagem	268,24			
2ª viagem	131,45			
3ª viagem				
Média	183,71			
Custo/km	(em R\$)			
	6,57			

Setor 16		Dia 5 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	25	03:12	9600	
2ª viagem	35	02:23	6280	
3ª viagem				
Totais diários	60	05:35	15.880	
Totais mensais	780	72:35	206.440	
Densidade	(em kg/km))			
1ª viagem	384,00			
2ª viagem	179,43			
3ª viagem				
Média	264,67			
Custo/km	(em R\$)			
	9,75			

Setor 16/17		Dia 5 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	34	05:20	8110	
2ª viagem	38	02:40	8080	
3ª viagem				
Totais diários	72	08:00	16.190	
Totais mensais	936	104:00	210.470	
Densidade	(em kg/km)			
1ª viagem	238,53			
2ª viagem	212,63			
3ª viagem				
Média	224,86			
Custo/km	(em R\$)			
	8,12			

Setor 17		Dia 5 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	24	04:05	9.580	
2ª viagem	42	03:30	7.490	
3ª viagem				
Totais diários	66	07:35	17.070	
Totais mensais	858	98:35	221.910	
Densidade	(em kg/km)			
1ª viagem	399,17			
2ª viagem	178,33			
3ª viagem				
Média	258,64			
Custo/km	(em R\$)			
	8,86			

Setor 18		Dia 5 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	35	03:28	7.300	
2ª viagem	39	03:47	7.130	
3ª viagem	31	03:15	7.810	
Totais diários	105	10:30	22.240	
Totais mensais	1365	136:30	289.120	
Densidade	(em kg/km)			
1ª viagem	208,57			
2ª viagem	182,82			
3ª viagem	251,94			
Média	211,81			
Custo/km	(em R\$)			
	6,19			

Setor 19		Dia 5 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	34	04:08	9830	
2ª viagem	35	04:02	8690	
3ª viagem	36	04:00	8080	
Totais diários	105	12:10	26.600	
Totais mensais	1365	158:10	345.800	
Densidade		(em kg/km)		
1ª viagem	289,12			
2ª viagem	248,29			
3ª viagem	224,44			
Média	253,33			
Custo/km		(em R\$)		
		6,19		

Setor 20		Dia 5 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	27	02:46	8130	
2ª viagem	33	02:31	6740	
3ª viagem	100	06:13	7510	
Totais diários	160	11:30	22.380	
Totais mensais	2080	149:30	290.940	
Densidade		(em kg/km)		
1ª viagem	301,11			
2ª viagem	204,24			
3ª viagem	75,10			
Média	139,88			
Custo/km		(em R\$)		
		4,06		

Setor 21		Dia 4 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	60	03:52	7060	
2ª viagem	77	04:21	6510	
3ª viagem	73	03:16	4700	
Totais diários	210	11:29	18.270	
Totais mensais	2730	149:17	237.510	
Densidade	(em kg/km)			
1ª viagem	117,67			
2ª viagem	84,55			
3ª viagem	64,38			
Média	87,00			
Custo/km	(em R\$)			
	3,10			

Setor 22		Dia 4 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	27	02:24	7380	
2ª viagem	32	02:35	7310	
3ª viagem	54	04:16	7590	
Totais diários	113	9:15	22.280	
Totais mensais	1469	120:15	289.640	
Densidade	(em kg/km)			
1ª viagem	273,33			
2ª viagem	228,44			
3ª viagem	140,56			
Média	197,17			
Custo/km	(em R\$)			
	5,75			

Setor 23		Dia 4 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	28	03:24	8490	
2ª viagem	39	03:36	7200	
3ª viagem				
Totais diários	67	07:00	15.690	
Totais mensais	871	91:00	203.970	
Densidade	(em kg/km)			
1ª viagem	303,21			
2ª viagem	184,62			
3ª viagem				
Média	234,18			
Custo/km	(em R\$)			
	8,73			

Setor 24		Dia 5 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	24	05:25	7520	
2ª viagem	38	02:45	4080	
3ª viagem				
Totais diários	62	08:10	11.600	
Totais mensais	806	106:10	150.800	
Densidade	(em kg/km)			
1ª viagem	313,33			
2ª viagem	107,37			
3ª viagem				
Média	187,10			
Custo/km	(em R\$)			
	9,43			

Setor 25		Dia 5 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	24	03:38	10.820	
2ª viagem	52	05:42	11.010	
3ª viagem				
Totais diários	76	09:20	21.830	
Totais mensais	988	121:20	283.790	
Densidade	(em kg/km)			
1ª viagem	450,83			
2ª viagem	211,73			
3ª viagem				
Média	287,24			
Custo/km	(em R\$)			
	7,69			

Setor 26		Dia 5 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	44	03:15	8190	
2ª viagem	107	05:45	8350	
3ª viagem				
Totais diários	151	09:00	16.540	
Totais mensais	1963	117:00	215.020	
Densidade	(em kg/km)			
1ª viagem	186,14			
2ª viagem	78,04			
3ª viagem				
Média	109,54			
Custo/km	(em R\$)			
	3,87			

Setor 27		Dia 5 de setembro		
	Distância percorrida (em km)	Tempo gasto (hh:mm)	Quantidade coletada (em kg)	
1ª viagem	94	05:13	7430	
2ª viagem	93	03:58	7780	
3ª viagem	52	02:44	3640	
Totais diários	219	11:55	18.850	
Totais mensais	2847	154:55	245.050	
Densidade	(em kg/km)			
1ª viagem	79,04			
2ª viagem	106,58			
3ª viagem	70,00			
Média	86,07			
Custo/km	(em R\$)			
	2,97			

Anexo J - O modelo matemático - Input do "GAMS"

SETS

I SETORES /S1*S28/

J PRODUTOS RECICLAVEIS /VIDRO, PET, ALUMINIO, FERRO, PAPELÃO,
PAPEL, DIVERSOS/

METAS METAS DO MODELO /M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9/

ALIAS(METAS,META);

PARAMETERS

A(I) DISTANCIA MEDIA DE CADA SETOR I ATE O ATERRO SANITARIO

/S1 11.2

S2 8.6

S3 7.4

S4 7.7

S5 11

S6 10.3

S7 3.7

S8 12

S9 11

S10 11.5

S11 14

S12 14

S13 14.3

S14 13

S15 15

S16 11

S17 9

S18 10

S19 8.7

S20 9.3

S21 10.7

S22 23.3

S23 10.3

S24 11.5

S25 10

S26 4.5

S27 14.5

S28 18/

B(I) QUANTIDADE GERADA POR CADA ZONA I

/S1 286188.60

S2 353294.88

S3 340794.69

S4 265793.54

S5 237503.64

S6 218424.40

S7 249345.92

S8 170397.34

S9 205924.20
 S10 338820.97
 S11 253951.25
 S12 223687.64
 S13 282899.07
 S14 238161.55
 S15 178950.11
 S16 165134.10
 S17 159870.87
 S18 205924.20
 S19 275004.21
 S20 246714.31
 S21 213819.06
 S22 180923.82
 S23 256582.87
 S24 182239.63
 S25 214476.97
 S26 232240.40
 S27 169739.44
 S28 232240.40/

OBJ(METAS)

/M3 10

M8 195.15/;

TABLE OBJETIVO(I,METAS)

	M1	M2	M5	M6	M7	M9
S1	242687.93	3290.56	7584	1783.53	43500.67	226200
S2	299594.06	2485.76	9362.31	2201.73	53700.82	226200
S3	288993.90	2803.53	9031.06	2123.83	51800.79	226200
S4	225392.92	1347.71	7043.53	1656.43	40400.62	150800
S5	201403.08	2172.90	6293.85	1480.12	36100.55	150800
S6	185223.89	2198.56	5788.25	1361.22	33200.51	150800
S7	211445.34	1100.74	6607.67	1553.92	37900.58	150800
S8	144496.95	2117.57	4515.53	1061.92	25900.40	150800
S9	174623.73	1680.04	5456.99	1283.32	31300.48	150800
S10	287320.19	1955.59	8978.76	2111.53	51500.79	150800
S11	215350.66	2623.71	6729.71	1582.62	38600.59	150800
S12	189687.12	2346.89	5927.72	1394.02	34000.52	150800
S13	239898.41	2384.75	7496.83	1763.03	43000.66	150800
S14	201960.99	2076.07	6311.28	1484.22	36200.56	150800
S15	151749.69	1978.52	4742.18	1115.22	27200.42	150800
S16	140033.72	1696.24	4376.05	1029.12	25100.38	150800
S17	135570.50	1674.58	4236.58	996.32	24300.37	113100
S18	174623.73	2373.64	5456.99	1283.32	31300.48	150800
S19	233203.57	1214.49	7287.61	1713.83	41800.64	150800
S20	209213.73	2233.87	6537.93	1537.52	37500.57	150800
S21	181318.57	2484.48	5666.21	1332.52	32500.50	150800
S22	153423.40	3066.15	4794.48	1127.52	27500.42	150800
S23	217582.28	1768.13	6799.45	1599.02	39000.60	150800
S24	154539.21	1557.56	4829.35	1135.72	27700.42	150800
S25	181876.47	2088.63	5683.64	1336.62	32600.50	150800
S26	196939.86	1581.03	6154.37	1447.32	35300.54	150800

S27 143939.05	2071.52	4498.10	1057.82	25800.40	150800
S28 196939.86	2547.82	6154.37	1447.32	35300.54	150800;

SCALAR CAPV CAPACIDADE MEDIA DOS VEICULOS /8500/;

VARIABLES

DEVNEG(METAS) DESVIO NEGATIVO DAS METAS M3 E M4
 DEVPOS(METAS) DESVIO POSITIVO DAS METAS M3 E M4
 PRODUTIV PRODUTIVIDADE DE CADA SETOR I
 SOMAXI SOMATORIO DA VARIABEL XI
 SOMAYI SOMATORIO DA VARIABEL YI
 ORCAMENTC ORCAMENTO DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
 DT DESVIO TOTAL DAS METAS
 DESVNEG(I,METAS) DESVIO NEGATIVO DAS METAS M1, M2, M5, M6, M7, M8,
 M9
 DESVPOS(I,METAS) DESVIO POSITIVO DAS METAS M1, M2, M5, M6, M7, M8, M9
 X(I) QUANTIDADE TRANSPORTADA DE CADA ZONA I AO ATERRO SANITARIO
 DENS(I) DENSIDADE DE COLETA
 CUSTCON(I) CUSTO POR TONELADA DE LIXO COLETADO CONVENC
 CUSTSEL(I) CUSTO POR TONELADA DE LIXO COLETADO SELETIVAMENTE
 Y(I) QUANT TRANSPORTADA DE RECICLAVEIS DO SETOR I PARA O CENTRO
 P(I,J) QUANTIDADE TRANSPORTADA DE CADA PRODUTO J DE CADA SETOR I
 PARA O CENTRO
 QUILOMET (I) QUILOMETROS PERCORRIDOS NA COLETA CONVENCIONAL
 VEICDP QUANTIDADE DE VEICULOS UTILIZADOS POR DIA NA COLETA
 DIARIA E DIAS PARES
 VEICDI QUANTIDADE DE VEICULOS UTILIZADOS POR DIA NA COLETA DIARIA
 E DIAS IMPARES
 CUSTCCON CUSTO DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
 CUSTDCON CUSTO DA DISPOSICAO FINAL DO LIXO POR SETOR
 CUSTCSEL CUSTO DA COLETA SELETIVA POR SETOR
 CUSTTTCCON CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL
 CUSTQUILO CUSTO VARIABEL DA COLETA CONVENCIONAL

POSITIVE VARIABLE CUSTTTCCON, CUSTTTSEL, CUSTTD, CUSTQUILO,
 DEVNEG, DEVPOS, PRODUTIV, SOMAXI, SOMAYI, ORCAMENTC, CUSTCCON,
 CUSTDCON, CUSTCSEL, DESVNEG, DESVPOS, X(I), DENS(I), Y(I), P(I,J),
 QUILOMET(I), VEICDP, VEICDI;

EQUATIONS

DESVTOT DEFINE A FUNCAO OBJETIVO
 COL_CONV DEFINE A PRIMEIRA META_COLETA CONVENCIONAL
 PERC1 DEFINE A SEGUNDA META_QUILOMETRAGEM
 PERC2 DEFINE A SEGUNDA META_QUILOMETRAGEM
 PERC3 DEFINE A SEGUNDA META_QUILOMETRAGEM
 PERC4 DEFINE A SEGUNDA META_QUILOMETRAGEM
 PERC5 DEFINE A SEGUNDA META_QUILOMETRAGEM
 PERC6 DEFINE A SEGUNDA META_QUILOMETRAGEM
 PERC7 DEFINE A SEGUNDA META_QUILOMETRAGEM
 PERC8 DEFINE A SEGUNDA META_QUILOMETRAGEM
 PERC9 DEFINE A SEGUNDA META_QUILOMETRAGEM
 PERC10 DEFINE A SEGUNDA META_QUILOMETRAGEM

PERC11 DEFINE A SEGUNDA META_QUILOMETRAGEM
 PERC12 DEFINE A SEGUNDA META_QUILOMETRAGEM
 PERC13 DEFINE A SEGUNDA META_QUILOMETRAGEM
 PERC14 DEFINE A SEGUNDA META_QUILOMETRAGEM
 PERC15 DEFINE A SEGUNDA META_QUILOMETRAGEM
 PERC16 DEFINE A SEGUNDA META_QUILOMETRAGEM
 PERC17 DEFINE A SEGUNDA META_QUILOMETRAGEM
 PERC18 DEFINE A SEGUNDA META_QUILOMETRAGEM
 PERC19 DEFINE A SEGUNDA META_QUILOMETRAGEM
 PERC20 DEFINE A SEGUNDA META_QUILOMETRAGEM
 PERC21 DEFINE A SEGUNDA META_QUILOMETRAGEM
 PERC22 DEFINE A SEGUNDA META_QUILOMETRAGEM
 PERC23 DEFINE A SEGUNDA META_QUILOMETRAGEM
 PERC24 DEFINE A SEGUNDA META_QUILOMETRAGEM
 PERC25 DEFINE A SEGUNDA META_QUILOMETRAGEM
 PERC26 DEFINE A SEGUNDA META_QUILOMETRAGEM
 PERC27 DEFINE A SEGUNDA META_QUILOMETRAGEM
 PERC28 DEFINE A SEGUNDA META_QUILOMETRAGEM
 VEICULOS DEFINE A PRIMEIRA PARTE DA TERCEIRA META_VEICULOS
 DIARIOS E DIAS PARES
 VEICULO2 DEFINE A SEGUNDA PARTE DA TERCEIRA META_VEICULOS
 DIARIOS E DIAS IMPARES
 COL_SEL DEFINE A SETIMA META_COLETA SELETIVA
 RESTGER DEFINE A RESTRICAO DE QUANTIDADE DE RESIDUOS
 GERADOS POR SETOR
 DESVIO DEFINE A RESTRICAO DO DESVIO POSITIVO M1 IGUAL A
 ZERO
 DESVIO2 DEFINE A RESTRICAO DO DESVIO POSITIVO M7 IGUAL A
 ZERO
 EQUIPERC1 DEFINE O PERCURSO TOTAL REALIZADO NO SETOR
 EQUIPERC2 DEFINE O PERCURSO TOTAL REALIZADO NO SETOR
 EQUIPERC3 DEFINE O PERCURSO TOTAL REALIZADO NO SETOR
 EQUIPERC4 DEFINE O PERCURSO TOTAL REALIZADO NO SETOR
 EQUIPERC5 DEFINE O PERCURSO TOTAL REALIZADO NO SETOR
 EQUIPERC6 DEFINE O PERCURSO TOTAL REALIZADO NO SETOR
 EQUIPERC7 DEFINE O PERCURSO TOTAL REALIZADO NO SETOR
 EQUIPERC8 DEFINE O PERCURSO TOTAL REALIZADO NO SETOR
 EQUIPERC9 DEFINE O PERCURSO TOTAL REALIZADO NO SETOR
 EQUIPERC10 DEFINE O PERCURSO TOTAL REALIZADO NO SETOR
 EQUIPERC11 DEFINE O PERCURSO TOTAL REALIZADO NO SETOR
 EQUIPERC12 DEFINE O PERCURSO TOTAL REALIZADO NO SETOR
 EQUIPERC13 DEFINE O PERCURSO TOTAL REALIZADO NO SETOR
 EQUIPERC14 DEFINE O PERCURSO TOTAL REALIZADO NO SETOR
 EQUIPERC15 DEFINE O PERCURSO TOTAL REALIZADO NO SETOR
 EQUIPERC16 DEFINE O PERCURSO TOTAL REALIZADO NO SETOR
 EQUIPERC17 DEFINE O PERCURSO TOTAL REALIZADO NO SETOR
 EQUIPERC18 DEFINE O PERCURSO TOTAL REALIZADO NO SETOR
 EQUIPERC19 DEFINE O PERCURSO TOTAL REALIZADO NO SETOR
 EQUIPERC20 DEFINE O PERCURSO TOTAL REALIZADO NO SETOR
 EQUIPERC21 DEFINE O PERCURSO TOTAL REALIZADO NO SETOR
 EQUIPERC22 DEFINE O PERCURSO TOTAL REALIZADO NO SETOR
 EQUIPERC23 DEFINE O PERCURSO TOTAL REALIZADO NO SETOR
 EQUIPERC24 DEFINE O PERCURSO TOTAL REALIZADO NO SETOR

EQUPERC25 DEFINE O PERCURSO TOTAL REALIZADO NO SETOR
EQUPERC26 DEFINE O PERCURSO TOTAL REALIZADO NO SETOR
EQUPERC27 DEFINE O PERCURSO TOTAL REALIZADO NO SETOR
EQUPERC28 DEFINE O PERCURSO TOTAL REALIZADO NO SETOR
EQU2 DEFINE A VARIAVEL VEICULO PARA A COLETA DIARIA E
DIAS PARES
EQU3 DEFINE A VARIAVEL VEICULO PARA A COLETA DIARIA E
DIAS IMPARES
EQU6 DEFINE A VARIAVEL QUANTIDADE DE VIDRO COLETADO
EQU7 DEFINE A VARIAVEL QUANTIDADE DE PET COLETADO
EQU8 DEFINE A VARIAVEL QUANTIDADE DE ALUMINIO COLETADO
EQU9 DEFINE A VARIAVEL QUANTIDADE DE FERRO COLETADO
EQU10 DEFINE A VARIAVEL QUANTIDADE DE PAPELÃO COLETADO
EQU11 DEFINE A VARIAVEL QUANTIDADE DE PAPEL COLETADO
EQU12 DEFINE A VARIAVEL QUANTIDADE DE DIVERSOS COLETADO
MEDIA1 DEFINE A DENSIDADE MEDIA DE COLETA
ORC_CONV DEFINE A QUINTA META_ORCAMENTO COL CONVENCIONAL
ORCAON DEFINE O ORCAMENTO TOTAL POR SETOR
CUSTO1 DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
CUSTO2 DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
CUSTO3 DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
CUSTO4 DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
CUSTO5 DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
CUSTO6 DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
CUSTO7 DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
CUSTO8 DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
CUSTO9 DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
CUSTO10 DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
CUSTO11 DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
CUSTO12 DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
CUSTO13 DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
CUSTO14 DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
CUSTO15 DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
CUSTO16 DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
CUSTO17 DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
CUSTO18 DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
CUSTO19 DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
CUSTO20 DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
CUSTO21 DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
CUSTO22 DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
CUSTO23 DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
CUSTO24 DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
CUSTO25 DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
CUST DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
CUST2 DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
CUST3 DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL POR SETOR
SOMATCCC DEFINE O CUSTO TOTAL DA COLETA CONVENCIONAL
SOMATCS
SOMATD
SOMATCQU DEFINE O CUSTO VAR
CUSTODF
SOMA
ORC_SEL

CUSTO
 SOMA3
 DENSIDAD DEFINE A OITAVA META_DENSIDADE
 PROD_COL
 PRODUT DEFINE A NONA META_PRODUTIVIDADE;

DESVTOT(METAS) .. DT =E= SUM(I,DESVNEG(I,'M1')) + SUM (I,DESVPOS(I,'M2'))
 + SUM(I, DEVPOS('M3')) + SUM(I,DEVNEG('M3')) + SUM(I,DEVPOS('M4')) +
 SUM(I,DEVNEG('M4')) + SUM(I,DESVPOS(I,'M5')) + SUM(I,DESVPOS(I,'M6')) +
 SUM(I,DESVNEG(I,'M7')) + SUM(I,DESVNEG(I,'M8')) + SUM(I,DESVPOS(I,'M8')) +
 SUM(I,DESVNEG(I,'M9')) + SUM(I, DESVPOS(I,'M9'));
 COL_CONV(I) .. X (I) + DESVNEG(I,'M1') - DESVPOS(I,'M1') =E= OBJETIVO(I,'M1');
 PERC1('S1') .. (2.15*2*26*11.2) + 312 + (X('S1')/DENS('S1')) + DESVNEG('S1','M2') -
 DESVPOS('S1','M2') =E= OBJETIVO('S1','M2');
 PERC2('S2') .. (2.15*2*26*8.6) + 312 + (X('S2')/DENS('S2')) + DESVNEG('S2','M2') -
 DESVPOS('S2','M2') =E= OBJETIVO('S2','M2');
 PERC3('S3') .. (2.15*2*26*7.4) + 312 + (X('S3')/DENS('S3')) + DESVNEG('S3','M2') -
 DESVPOS('S3','M2') =E= OBJETIVO('S3','M2');
 PERC4('S4') .. (2.6*2*13*7.7) + 156 + (X('S4')/DENS('S4')) + DESVNEG('S4','M2') -
 DESVPOS('S4','M2') =E= OBJETIVO('S4','M2');
 PERC5('S5') .. (2.6*2*13*11) + 156 + (X('S5')/DENS('S5')) + DESVNEG('S5','M2') -
 DESVPOS('S5','M2') =E= OBJETIVO('S5','M2');
 PERC6('S6') .. (2.6*2*13*10.3) + 156 + (X('S6')/DENS('S6')) + DESVNEG('S6','M2') -
 DESVPOS('S6','M2') =E= OBJETIVO('S6','M2');
 PERC7('S7') .. (2.6*2*13*3.7) + 156 + (X('S7')/DENS('S7')) + DESVNEG('S7','M2') -
 DESVPOS('S7','M2') =E= OBJETIVO('S7','M2');
 PERC8('S8') .. (2.6*2*13*12) + 156 + (X('S8')/DENS('S8')) + DESVNEG('S8','M2') -
 DESVPOS('S8','M2') =E= OBJETIVO('S8','M2');
 PERC9('S9') .. (2.6*2*13*11) + 156 + (X('S9')/DENS('S9')) + DESVNEG('S9','M2') -
 DESVPOS('S9','M2') =E= OBJETIVO('S9','M2');
 PERC10('S10') .. (2.6*2*13*11.5) + 156 + (X('S10')/DENS('S10'))+ DESVNEG('S10','M2')
 - DESVPOS('S10','M2') =E= OBJETIVO('S10','M2');
 PERC11('S11') .. (2.6*2*13*14) + 156 + (X('S11')/DENS('S11')) + DESVNEG('S11','M2') -
 DESVPOS('S11','M2') =E= OBJETIVO('S11','M2');
 PERC12('S12') .. (2.6*2*13*14) + 156 + (X('S12')/DENS('S12')) + DESVNEG('S12','M2') -
 DESVPOS('S12','M2') =E= OBJETIVO('S12','M2');
 PERC13('S13') .. (2.6*2*13*14.3) + 156+ (X('S13')/DENS('S13')) + DESVNEG('S13','M2')
 - DESVPOS('S13','M2') =E= OBJETIVO('S13','M2');
 PERC14('S14') .. (2.6*2*13*13) + 156 + (X('S4')/DENS('S14')) + DESVNEG('S14','M2') -
 DESVPOS('S14','M2') =E= OBJETIVO('S14','M2');
 PERC15('S15') .. (2.6*2*13*15) + 156 + (X('S15')/DENS('S15')) + DESVNEG('S15','M2') -
 DESVPOS('S15','M2') =E= OBJETIVO('S15','M2');
 PERC16('S16') .. (2.6*2*13*11) + 156 + (X('S16')/DENS('S16')) + DESVNEG('S16','M2') -
 DESVPOS('S16','M2') =E= OBJETIVO('S16','M2');
 PERC17('S17') .. (2.6*2*13*9) + 156 + (X('S17')/DENS('S17')) + DESVNEG('S17','M2') -
 DESVPOS('S17','M2') =E= OBJETIVO('S17','M2');
 PERC18('S18') .. (2.6*2*13*10) + 156 + (X('S18')/DENS('S18')) + DESVNEG('S18','M2') -
 DESVPOS('S18','M2') =E= OBJETIVO('S18','M2');
 PERC19('S19') .. (2.6*2*13*8.7) + 156 + (X('S19')/DENS('S19'))+ DESVNEG('S19','M2') -
 DESVPOS('S19','M2') =E= OBJETIVO('S19','M2');
 PERC20('S20') .. (2.6*2*13*9.3) + 156 + (X('S20')/DENS('S20'))+DESVNEG('S20','M2') -
 DESVPOS('S20','M2') =E= OBJETIVO('S20','M2');

PERC21('S21') .. (2.6*2*13*10.7) + 156 + (X('S21')/DENS('S21'))+ DESVNEG('S21','M2')
 - DESVPOS('S21','M2') =E= OBJETIVO('S21','M2');
 PERC22('S22') .. (2.6*2*13*23.3) + 156 + (X('S22')/DENS('S22'))+ DESVNEG('S22','M2')
 - DESVPOS('S22','M2') =E= OBJETIVO('S22','M2');
 PERC23('S23') .. (2.6*2*13*10.3) + 156 + (X('S23')/DENS('S23'))+ DESVNEG('S23','M2')
 - DESVPOS('S23','M2') =E= OBJETIVO('S23','M2');
 PERC24('S24') .. (2.6*2*13*11.5) + 156 + (X('S24')/DENS('S24'))+ DESVNEG('S24','M2')
 - DESVPOS('S24','M2') =E= OBJETIVO('S24','M2');
 PERC25('S25') .. (2.6*2*13*10) + 156 + (X('S25')/DENS('S25')) + DESVNEG('S25','M2') -
 DESVPOS('S25','M2') =E= OBJETIVO('S25','M2');
 PERC26('S26') .. (2.6*2*13*4.6) + 156 + (X('S26')/DENS('S26')) + DESVNEG('S26','M2')
 - DESVPOS('S26','M2') =E= OBJETIVO('S26','M2');
 PERC27('S27') .. (2.6*2*13*14.5) + 156 + (X('S27')/DENS('S27'))+ DESVNEG('S27','M2')
 - DESVPOS('S27','M2') =E= OBJETIVO('S27','M2');
 PERC28('S28') .. (2.6*2*13*18) + 156 + (X('S28')/DENS('S28')) + DESVNEG('S28','M2') -
 DESVPOS('S28','M2') =E= OBJETIVO('S28','M2');
 VEICULOS(I) .. (X('S1')/CAPV)/(2.15*26) + (X('S2')/CAPV)/(2.15*26) +
 (X('S3')/CAPV)/(2.15*26) + (X('S4')/CAPV)/(2.6*13) + (X('S5')/CAPV)/(2.6*13) +
 (X('S6')/CAPV)/(2.6*13) + (X('S7')/CAPV)/(2.6*13) + (X('S8')/CAPV)/(2.6*13) +
 (X('S9')/CAPV)/(2.6*13) + (X('S10')/CAPV)/(2.6*13) + (X('S11')/CAPV)/(2.6*13) +
 (X('S13')/CAPV)/(2.6*13) + (X('S25')/CAPV)/(2.6*13) + (X('S26')/CAPV)/(2.6*13) +
 (X('S27')/CAPV)/(2.6*13) + DEVNEG('M3') - DEVPOS('M3') =E= OBJ('M3');
 VEICULO2(I) .. (X('S1')/CAPV)/(2.15*26) + (X('S2')/CAPV)/(2.15*26) +
 (X('S3')/CAPV)/(2.15*26) + (X('S12')/CAPV)/(2.6*13) + (X('S14')/CAPV)/(2.6*13) +
 (X('S15')/CAPV)/(2.6*13) + (X('S16')/CAPV)/(2.6*13) + (X('S17')/CAPV)/(2.6*13) +
 (X('S18')/CAPV)/(2.6*13) + (X('S19')/CAPV)/(2.6*13) + (X('S20')/CAPV)/(2.6*13) +
 (X('S21')/CAPV)/(2.6*13) + (X('S22')/CAPV)/(2.6*13) + (X('S23')/CAPV)/(2.6*13) +
 (X('S24')/CAPV)/(2.6*13) + (X('S28')/CAPV)/(2.6*13) + DEVNEG('M4') - DEVPOS('M4')
 =E= OBJ('M3');
 COL_SEL(I) .. SUM(J, P(I,J)) + DESVNEG(I,'M7') - DESVPOS(I,'M7') =E=
 OBJETIVO(I,'M7');
 RESTGER(I) .. X (I) + SUM(J,P(I,J)) =L= B(I);
 DESVIO(I,METAS) .. DESVPOS(I,'M1') =E= 0;
 DESVIO2(I,METAS) .. DESVPOS(I,'M7') =E= 0;
 EQUIPERC1('S1') .. (2.15*2*26*11.2) + 312 + (X('S1')/DENS('S1')) =E=
 QUILOMET('S1');
 EQUIPERC2('S2') .. (2.15*2*26*8.6) + 312 + (X('S2')/DENS('S2')) =E=
 QUILOMET('S2');
 EQUIPERC3('S3') .. (2.15*2*26*7.4) + 312 + (X('S3')/DENS('S3')) =E=
 QUILOMET('S3');
 EQUIPERC4('S4') .. (2.6*2*13*7.7) + 156 + (X('S4')/DENS('S4')) =E=
 QUILOMET('S4');
 EQUIPERC5('S5') .. (2.6*2*13*11) + 156 + (X('S5')/DENS('S5')) =E=
 QUILOMET('S5');
 EQUIPERC6('S6') .. (2.6*2*13*10.3) + 156 + (X('S6')/DENS('S6')) =E=
 QUILOMET('S6');
 EQUIPERC7('S7') .. (2.6*2*13*3.7) + 156 + (X('S7')/DENS('S7')) =E=
 QUILOMET('S7');
 EQUIPERC8('S8') .. (2.6*2*13*12) + 156 + (X('S8')/DENS('S8')) =E=
 QUILOMET('S8');
 EQUIPERC9('S9') .. (2.6*2*13*11) + 156 + (X('S9')/DENS('S9')) =E=
 QUILOMET('S9');
 EQUIPERC10('S10') .. (2.6*2*13*11.5) + 156 + (X('S10')/DENS('S10')) =E=

QUILOMET('S10');
 EQUperc11('S11') .. (2.6*2*13*14) + 156 + (X('S11')/DENS('S11')) =E=
 QUILOMET('S11');
 EQUperc12('S12') .. (2.6*2*13*14) + 156 + (X('S12')/DENS('S12')) =E=
 QUILOMET('S12');
 EQUperc13('S13') .. (2.6*2*13*14.3) + 156 + (X('S13')/DENS('S13')) =E=
 QUILOMET('S13');
 EQUperc14('S14') .. (2.6*2*13*13) + 156 + (X('S4')/DENS('S14')) =E=
 QUILOMET('S14');
 EQUperc15('S15') .. (2.6*2*13*15) + 156 + (X('S15')/DENS('S15')) =E=
 QUILOMET('S15');
 EQUperc16('S16') .. (2.6*2*13*11) + 156 + (X('S16')/DENS('S16')) =E=
 QUILOMET('S16');
 EQUperc17('S17') .. (2.6*2*13*9) + 156 + (X('S17')/DENS('S17')) =E=
 QUILOMET('S17');
 EQUperc18('S18') .. (2.6*2*13*10) + 156 + (X('S18')/DENS('S18')) =E=
 QUILOMET('S18');
 EQUperc19('S19') .. (2.6*2*13*8.7) + 156 + (X('S19')/DENS('S19')) =E=
 QUILOMET('S19');
 EQUperc20('S20') .. (2.6*2*13*9.3) + 156 + (X('S20')/DENS('S20')) =E=
 QUILOMET('S20');
 EQUperc21('S21') .. (2.6*2*13*10.7) + 156 + (X('S21')/DENS('S21')) =E=
 QUILOMET('S21');
 EQUperc22('S22') .. (2.6*2*13*23.3) + 156 + (X('S22')/DENS('S22')) =E=
 QUILOMET('S22');
 EQUperc23('S23') .. (2.6*2*13*10.3) + 156 + (X('S23')/DENS('S23')) =E=
 QUILOMET('S23');
 EQUperc24('S24') .. (2.6*2*13*11.5) + 156 + (X('S24')/DENS('S24')) =E=
 QUILOMET('S24');
 EQUperc25('S25') .. (2.6*2*13*10) + 156 + (X('S25')/DENS('S25')) =E=
 QUILOMET('S25');
 EQUperc26('S26') .. (2.6*2*13*4.6) + 156 + (X('S26')/DENS('S26')) =E=
 QUILOMET('S26');
 EQUperc27('S27') .. (2.6*2*13*14.5) + 156 + (X('S27')/DENS('S27')) =E=
 QUILOMET('S27');
 EQUperc28('S28') .. (2.6*2*13*18) + 156 + (X('S28')/DENS('S28')) =E=
 QUILOMET('S28');
 EQU2 .. (X('S1')/CAPV)/(2.15*26)+(X('S2')/CAPV)/(2.15*26)+
 (X('S3')/CAPV)/(2.15*26)+(X('S4')/CAPV)/(2.6*13)+(X('S5')/CAPV)/(2.6*13)+
 (X('S6')/CAPV)/(2.6*13)+(X('S7')/CAPV)/(2.6*13)+(X('S8')/CAPV)/(2.6*13)+
 (X('S9')/CAPV)/(2.6*13)+(X('S10')/CAPV)/(2.6*13)+(X('S11')/CAPV)/(2.6*13)+
 (X('S13')/CAPV)/(2.6*13)+(X('S25')/CAPV)/(2.6*13)+(X('S26')/CAPV)/(2.6*13)+
 (X('S27')/CAPV)/(2.6*13) =E= VEICDP;
 EQU3 ..(X('S1')/CAPV)/(2.15*26)+(X('S2')/CAPV)/(2.15*26)+(X('S3')/CAPV)
 /(2.15*26)+(X('S12')/CAPV)/(2.6*13)+(X('S14')/CAPV)/(2.6*13)+(X('S15')
 /CAPV)/(2.6*13)+(X('S16')/CAPV)/(2.6*13)+(X('S17')/CAPV)/(2.6*13)+363
 (X('S18')/CAPV)/(2.6*13)+(X('S19')/CAPV)/(2.6*13)+(X('S20')/CAPV)/(2.6*13)
 + (X('S21')/CAPV)/(2.6*13)+(X('S22')/CAPV)/(2.6*13)+(X('S23')/CAPV)/(2.6*13)
 +(X('S24')/CAPV)/(2.6*13)+(X('S28')/CAPV)/(2.6*13) =E= VEICDI;
 EQU6(I,J) .. Y(I)*0.197174 =E= P(I,'VIDRO');
 EQU7(I,J) .. Y(I)*0.116159 =E= P(I,'PET');
 EQU8(I,J) .. Y(I)*0.008172 =E= P(I,'ALUMINIO');
 EQU9(I,J) .. Y(I)*0.064007 =E= P(I,'FERRO');

EQU10(I,J) .. Y(I)*0.209054 =E= P(I,'PAPELAO');
 EQU11(I,J) .. Y(I)*0.244861 =E= P(I,'PAPEL');
 EQU12(I,J) .. Y(I)*0.160574 =E= P(I,'DIVERSOS');
 MEDIA1 .. SUM(I,DENS(I))/28 =E= 195.15;
 ORC_CONV(I)..CUSTCCON(I)+CUSTDCON(I)+ DESVNEG(I,'M5') - DESVPOS(I,'M5')
 =E= OBJETIVO(I,'M5');
 ORCACON(I) .. CUSTCCON(I) + CUSTDCON(I) =E= ORCAMENTC(I);
 CUSTO1('S4') .. CUSTCCON('S4') =E= (3333.34+(QUILOMET('S4')/1.5*0.803));
 CUSTO2('S5') .. CUSTCCON('S5') =E= (3333.34+(QUILOMET('S5')/1.5*0.803));
 CUSTO3('S6') .. CUSTCCON('S6') =E= (3333.34+(QUILOMET('S6')/1.5*0.803));
 CUSTO4('S7') .. CUSTCCON('S7') =E= (3333.34+(QUILOMET('S7')/1.5*0.803));
 CUSTO5('S8') .. CUSTCCON('S8') =E= (3333.34+(QUILOMET('S8')/1.5*0.803));
 CUSTO6('S9') .. CUSTCCON('S9') =E= (3333.34+(QUILOMET('S9')/1.5*0.803));
 CUSTO7('S10') .. CUSTCCON('S10') =E= (3333.34+(QUILOMET('S10')/1.5*0.803));
 CUSTO8('S11') .. CUSTCCON('S11') =E= (3333.34+(QUILOMET('S11')/1.5*0.803));
 CUSTO9('S12') .. CUSTCCON('S12') =E= (3333.34+(QUILOMET('S12')/1.5*0.803));
 CUSTO10('S13')..CUSTCCON('S13')=E=(3333.34+(QUILOMET('S13')/1.5*0.803));
 CUSTO11('S14')..CUSTCCON('S14')=E=(3333.34+(QUILOMET('S14')/1.5*0.803));
 CUSTO12('S15') .. CUSTCCON('S15') =E= (3333.34+(QUILOMET('S15')/1.5*0.803));
 CUSTO13('S16') .. CUSTCCON('S16') =E= (3333.34+(QUILOMET('S16')/1.5*0.803));
 CUSTO14('S17') .. CUSTCCON('S17') =E= (2908.34+(QUILOMET('S17')/1.5*0.803));
 CUSTO15('S18') .. CUSTCCON('S18') =E= (3333.34+(QUILOMET('S18')/1.5*0.803));
 CUSTO16('S19') .. CUSTCCON('S19') =E= (3333.34+(QUILOMET('S19')/1.5*0.803));
 CUSTO17('S20') .. CUSTCCON('S20') =E= (3333.34+(QUILOMET('S20')/1.5*0.803));
 CUSTO18('S21') .. CUSTCCON('S21') =E= (3333.34+(QUILOMET('S21')/1.5*0.803));
 CUSTO19('S22') .. CUSTCCON('S22') =E= (3333.34+(QUILOMET('S22')/1.5*0.803));
 CUSTO20('S23') .. CUSTCCON('S23') =E= (3333.34+(QUILOMET('S23')/1.5*0.803));
 CUSTO21('S24') .. CUSTCCON('S24') =E= (3333.34+(QUILOMET('S24')/1.5*0.803));
 CUSTO22('S25') .. CUSTCCON('S25') =E= (3333.34+(QUILOMET('S25')/1.5*0.803));
 CUSTO23('S26') .. CUSTCCON('S26') =E= (3333.34+(QUILOMET('S26')/1.5*0.803));
 CUSTO24('S27') .. CUSTCCON('S27') =E= (3333.34+(QUILOMET('S27')/1.5*0.803));
 CUSTO25('S28') .. CUSTCCON('S28') =E= (3333.34+(QUILOMET('S28')/1.5*0.803));
 CUST('S1') .. CUSTCCON('S1') =E= (5816.67+(QUILOMET('S1')/1.5*0.803));
 CUST2('S2') .. CUSTCCON('S2') =E= (5816.67+(QUILOMET('S2')/1.5*0.803));
 CUST3('S3') .. CUSTCCON('S3') =E= (5816.67+(QUILOMET('S3')/1.5*0.803));
 SOMATCCC .. SUM(I,CUSTCCON(I)) =E= CUSTTCCON;
 SOMATCS .. SUM(I, CUSTCSEL(I)) =E= CUSTTTCSEL;
 SOMATD .. SUM(I, CUSTDCON(I)) =E= CUSTTD;
 SOMATCQU .. (QUILOMET('S4')/1.5*0.803) + (QUILOMET('S5')/1.5*0.803)
 + (QUILOMET('S6')/1.5*0.803) + (QUILOMET('S7')/1.5*0.803)+
 (QUILOMET('S8')/1.5*0.803) + (QUILOMET('S9')/1.5*0.803) +
 (QUILOMET('S10')/1.5*0.803) + (QUILOMET('S11')/1.5*0.803) +
 (QUILOMET('S12')/1.5*0.803) + (QUILOMET('S13')/1.5*0.803) +
 (QUILOMET('S14')/1.5*0.803) + (QUILOMET('S15')/1.5*0.803) +
 (QUILOMET('S16')/1.5*0.803) + (QUILOMET('S17')/1.5*0.803) +
 (QUILOMET('S18')/1.5*0.803) + (QUILOMET('S19')/1.5*0.803) +
 (QUILOMET('S20')/1.5*0.803) + (QUILOMET('S21')/1.5*0.803) +
 (QUILOMET('S22')/1.5*0.803) + (QUILOMET('S23')/1.5*0.803) +
 (QUILOMET('S24')/1.5*0.803) + (QUILOMET('S25')/1.5*0.803) +
 (QUILOMET('S26')/1.5*0.803) + (QUILOMET('S27')/1.5*0.803) +
 (QUILOMET('S28')/1.5*0.803) + (QUILOMET('S1')/1.5*0.803) +
 (QUILOMET('S2')/1.5*0.803) + (QUILOMET('S3')/1.5*0.803) =E= CUSTQUILO;
 CUSTODF(I) .. CUSTDCON(I) =E= X(I)*37435.71/SOMAXI;

```

SOMA .. SOMAXI =E= SUM(I, X(I));
ORC_SEL(I) .. CUSTCSEL(I) + DESVNEG(I,'M6') - DESVPOS(I,'M6') =E=
OBJETIVO(I,'M6');
CUSTO(I) .. CUSTCSEL(I) =E= Y(I)*44599.32/SOMAYI;
SOMA3 .. SUM(I, Y(I)) =E= SOMAYI;
DENSIDAD(I) .. DENS(I) + DESVNEG(I,'M8') - DESVPOS(I,'M8') =E= OBJ('M8');
PROD_COL(I) .. X(I)+DESVNEG(I,'M9')-DESVPOS(I,'M9') =E= OBJETIVO(I,'M9');
PRODUT(I) .. X(I)*100/OBJETIVO(I,'M9') =E= PRODUTIV(I);
MODEL MODELO /ALL/;
MODELO.ITERLIM = 999999;
DENS.LO(I) = 100;
SOMAXI.LO = 100;
SOMAYI.LO = 100;
SOLVE MODELO USING NLP MINIMIZING DT;
DISPLAY CUSTCCON.L, CUSTTCSEL.L, CUSTTD.L, CUSTQUILO.L, DT.L, DT.M,
DT.UP, DT.LO, DEVNEG.L, DEVNEG.M, DEVPOS.L, DEVPOS.M, DESVNEG.L,
DESVNEG.M, DESVNEG.UP, DESVNEG.LO, DESVPOS.L, DESVPOS.M,
DESVPOS.UP, DESVPOS.LO, X.L, X.M, X.UP, X.LO, DENS.L, DENS.M, DENS.UP,
DENS.LO, QUILOMET.L, QUILOMET.M, QUILOMET.UP, QUILOMET.LO,
VEICDP.L, VEICDP.M, VEICDP.UP, VEICDP.LO, VEICDI.L,
VEICDI.M, VEICDI.UP, VEICDI.LO, PRODUTIV.L, Y.L, Y.M, Y.UP, Y.LO, P.L, P.M,
P.UP, P.LO, ORCAMENTC.L, ORCAMENTC.M, ORCAMENTC.UP,
ORCAMENTC.LO, CUSTCCON.L, CUSTDCON.L, CUSTCSEL.L, DENS.L;

```

Anexo K - Desvios referentes ao modelo sem prioridades

Desvios Negativos

Setor	M1	M2	M5	M7	M8	M9
1	-16.487,93	-807,12	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	-28,23	0,00	0,00	0,00
3	-29.637,59	-335,20	0,00	0,00	0,00	0,00
4	-74.592,92	0,00	-1.888,05	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	-327,27	0,00	-36,98	0,00
6	0,00	-329,58	-102,45	0,00	-12,97	0,00
7	-60.645,34	0,00	-1.584,40	0,00	0,00	0,00
8	0,00	-415,63	0,00	0,01	0,00	-6.303,05
9	-22.320,86	0,00	-112,63	0,00	0,00	0,00
10	-87.839,81	0,00	-3.142,54	0,00	0,00	0,00
11	0,00	-87,16	-466,65	0,00	-44,99	0,00
12	0,00	-204,11	-62,78	0,00	-12,83	0,00
13	0,00	0,00	-1.135,86	0,00	-5,07	0,00
14	0,00	0,00	-392,46	0,00	-50,33	0,00
15	-949,69	-57,93	0,00	0,00	0,00	0,00
16	0,00	-79,07	0,00	0,00	0,00	-10.766,28
16/17	-22.470,50	-330,63	0,00	0,00	0,00	0,00
17	-7.501,53	-685,26	0,00	0,00	0,00	0,00
18	-82.403,57	0,00	-2.161,25	0,00	0,00	0,00
19	0,00	-66,35	-517,22	0,00	-43,86	0,00
20	0,00	-598,84	0,00	0,00	-14,97	0,00
21	-2.623,40	-584,48	0,00	0,00	0,00	0,00
22	-38.854,15	0,00	-1.215,06	0,00	0,00	0,00
23	-3.739,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	-178,04	0,00	0,00	-26,53	0,00
25	0,00	0,00	-537,21	0,00	-18,38	0,00
26	0,00	-202,00	0,00	0,01	0,00	-6.860,95
27	0,00	0,00	-19,66	0,00	-27,54	0,00
Total	-450.066,50	-4.961,39	-13.693,71	0,02	-294,43	-23.930,28

M3 para as 2^{as}, 4^{as} e 6^{as}: 5,410M3 para as 3^{as}, 5^{as} e sábados: 5,378

Desvios Positivos

Setor	M2	M5	M6	M8	M9
1	0,00	1.213,15	156,54	50,91	0,00
2	0,00	0,00	193,25	51,98	73.394,06
3	0,00	0,00	186,42	0,00	33.156,31
4	0,00	0,00	145,38	29,53	0,00
5	0,00	0,00	129,92	0,00	50.603,08
6	0,00	0,00	119,48	0,00	34.423,89
7	0,00	0,00	136,39	21,95	0,00
8	0,00	783,58	93,20	1,52	0,00
9	0,00	0,00	112,64	0,00	1.502,87
10	0,00	0,00	185,34	0,00	48.680,38
11	0,00	0,00	138,91	0,00	64.550,66
12	0,00	0,00	122,36	0,00	38.887,12
13	0,00	0,00	154,74	0,00	89.098,41
14	0,00	0,00	130,28	0,00	51.160,99
15	0,00	719,99	97,88	5,76	0,00
16	0,00	845,10	90,32	0,00	0,00
16/17	0,00	216,73	87,44	0,00	0,00
17	0,00	0,00	112,64	0,00	16.322,20
18	78,81	0,00	150,42	79,44	0,00
19	0,00	0,00	134,95	0,00	58.413,73
20	0,00	0,00	116,96	0,00	30.518,56
21	0,00	968,05	98,96	5,76	0,00
22	0,00	0,00	140,35	0,00	27.928,13
23	0,00	438,48	99,68	46,46	0,00
24	0,00	0,00	117,32	0,00	31.076,47
25	0,00	0,00	127,04	0,00	46.139,86
26	0,00	886,65	92,84	1,14	0,00
27	0,00	0,00	127,04	0,00	46.139,86
Total	78,81	6.071,72	3.598,69	294,43	741.996,57

Anexo L - Desvios referentes ao modelo da 1ª ordenação de prioridades

Desvios Negativos

Setor	M2	M5	M8	M9
1	0,00	0,00	-54,58	0,00
2	0,00	-204,63	0,00	0,00
3	0,00	0,00	-21,50	0,00
4	0,00	-1.476,31	0,00	0,00
5	0,00	-445,86	-36,98	0,00
6	0,00	-35,08	-57,57	0,00
7	0,00	-1.266,25	0,00	0,00
8	0,00	0,00	-69,54	-6.303,05
9	0,00	-52,53	0,00	0,00
10	0,00	-2.670,59	0,00	0,00
11	-70,01	-584,27	-46,77	0,00
12	0,00	-65,20	-42,73	0,00
13	0,00	-1.277,12	-5,07	0,00
14	0,00	-511,38	0,00	0,00
15	0,00	0,00	-7,46	0,00
16	0,00	0,00	-19,37	-10.766,28
16/17	0,00	0,00	-46,20	0,00
17	0,00	0,00	-81,88	0,00
18	0,00	-1.739,30	0,00	0,00
19	0,00	-641,64	-43,60	0,00
20	-68,67	0,00	-82,19	0,00
21	0,00	0,00	-80,23	0,00
22	0,00	-1.059,58	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	-11,78	-50,42	0,00
25	0,00	-653,17	-18,38	0,00
26	0,00	0,00	-41,26	-6.860,95
27	0,00	-135,62	-27,54	0,00
Total	-138,68	-12.830,31	-833,25	-23.930,28

Desvios Positivos

Setor	M5	M6	M8	M9
1	1.622,67	156,54	0,00	16.487,93
2	0,00	193,25	51,98	73.394,06
3	225,60	186,42	0,00	62.793,90
4	0,00	145,38	140,66	74.592,92
5	0,00	129,92	0,00	50.603,08
6	0,00	119,48	0,00	34.423,89
7	0,00	136,39	109,25	60.645,34
8	921,00	93,20	0,00	0,00
9	0,00	112,64	28,60	23.823,73
10	0,00	185,34	85,93	136.520,19
11	0,00	138,91	0,00	64.550,66
12	0,00	122,36	0,00	38.887,12
13	0,00	154,74	0,00	89.098,41
14	0,00	130,28	21,31	51.160,99
15	668,58	97,88	0,00	949,69
16	804,98	90,32	0,00	0,00
16/17	477,91	87,44	0,00	22.470,50
17	318,78	112,64	0,00	23.823,73
18	0,00	150,42	300,64	82.403,57
19	0,00	134,95	0,00	58.413,73
20	213,82	116,96	0,00	30.518,57
21	1.209,75	98,96	0,00	2.623,40
22	0,00	140,35	42,42	66.782,28
23	374,77	99,68	52,45	3.739,21
24	0,00	117,32	0,00	31.076,47
25	0,00	127,04	0,00	46.139,86
26	910,04	92,84	0,00	0,00
27	0,00	127,04	0,00	46.139,86
Total	7.747,89	3.598,69	833,25	1.192.063,09

Anexo M - Desvios referentes ao modelo da 2ª ordenação de prioridades

Desvios Negativos

Setor	M2	M5	M9
1	-482,80	0,00	0,00
2	0,00	-204,63	0,00
3	-183,33	0,00	0,00
4	0,00	-1.476,31	0,00
5	-241,26	-445,86	0,00
6	-397,14	-35,08	0,00
7	0,00	-1.266,25	0,00
8	-409,93	0,00	-6303,05
9	0,00	-52,53	0,00
10	0,00	-2.670,59	0,00
11	-417,80	-584,27	0,00
12	-272,48	-65,20	0,00
13	-32,77	-1.277,12	0,00
14	0,00	-511,38	0,00
15	-30,92	0,00	0,00
16	-79,07	0,00	-10766,28
16/17	-215,48	0,00	0,00
17	-646,82	0,00	0,00
18	0,00	-1.739,30	0,00
19	-377,12	-641,64	0,00
20	-676,04	0,00	0,00
21	-548,89	0,00	0,00
22	0,00	-1.059,58	0,00
23	0,00	0,00	0,00
24	-324,65	-11,78	0,00
25	-104,90	-653,17	0,00
26	-197,74	0,00	-6860,95
27	-165,85	-135,62	0,00
Total	-5.804,98	-12.830,31	-23.930,28

Desvios Positivos

Setor	M2	M5	M9
1	0,00	1622,67	16487,93
2	322,92	0,00	73394,06
3	0,00	225,60	62793,9
4	483,78	0,00	74592,92
5	0,00	0,00	50603,08
6	0,00	0,00	34423,89
7	388,88	0,00	60645,34
8	0,00	921,00	0,00
9	114,38	0,00	23823,73
10	450,11	0,00	136520,19
11	0,00	0,00	64550,66
12	0,00	0,00	38887,12
13	0,00	0,00	89098,41
14	113,70	0,00	51160,99
15	0,00	668,58	949,69
16	0,00	804,98	0,00
16/17	0,00	477,91	22470,50
17	0,00	318,776	23823,73
18	724,63	0,00	82403,57
19	0,00	0,00	58413,73
20	0,00	213,82	30518,57
21	0,00	1209,75	2623,40
22	199,10	0,00	66782,28
23	167,74	374,77	3739,21
24	0,00	0,00	31076,47
25	0,00	0,00	46139,86
26	0,00	910,04	0,00
27	0,00	0,00	46139,86
Total	2.965,25	7.747,89	1.192.063,09

Anexo N - Desvios referentes ao modelo da 3ª ordenação de prioridades

Desvios Negativos

Setor	M1	M2	M5	M8
1	-16.487,93	0,00	0,00	-64,13
2	-73.394,06	-339,72	-477,01	0,00
3	-62.793,90	-477,45	-49,38	-4,55
4	-74.592,92	-157,91	-1.793,40	0,00
5	-50.603,08	0,00	-517,43	-76,72
6	-34.423,89	0,00	0,00	-83,14
7	-60.645,34	0,00	-1.405,21	0,00
8	0,00	0,00	0,00	-64,06
9	-23.823,73	0,00	0,00	-1,93
10	-136.520,19	0,00	-3.318,67	-47,62
11	-64.550,66	-13,31	-719,08	-95,15
12	-38.887,12	0,00	-58,16	-73,98
13	-89.098,41	-651,02	-1.955,51	0,00
14	-51.160,99	0,00	-586,70	-50,33
15	-949,69	-148,01	0,00	0,00
16	0,00	0,00	0,00	-5,86
16/17	-22.470,50	0,00	0,00	-70,89
17	-23.823,73	-33,64	0,00	-95,15
18	-82.403,57	0,00	-2.024,26	0,00
19	-58.413,73	0,00	-728,87	-91,09
20	-30.518,57	-97,16	0,00	-95,15
21	-2.623,40	-845,00	0,00	0,00
22	-66.782,28	-143,34	-1.316,45	0,00
23	-3.739,21	0,00	0,00	0,00
24	-31.076,47	0,00	0,00	-75,15
25	-46.139,86	-789,95	-1.117,68	0,00
26	0,00	-305,78	0,00	0,00
27	-46.139,86	-706,01	-555,19	0,00
Total	-1.192.063,09	-4.708,30	-16.623,02	-994,88

Desvios Positivos

Setor	M1	M5	M8
1	0,00	1.914,00	0,00
2	0,00	0,00	64,09
3	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	98,65
5	0,00	0,00	0,00
6	0,00	1,91	0,00
7	0,00	0,00	21,95
8	6.303,05	1.231,27	0,00
9	0,00	55,59	0,00
10	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	51,64
14	0,00	0,00	0,00
15	0,00	850,95	33,16
16	10.766,28	1.145,20	0,00
16/17	0,00	528,11	0,00
17	0,00	408,88	0,00
18	0,00	0,00	125,45
19	0,00	0,00	0,00
20	0,00	225,00	0,00
21	0,00	1.007,77	112,56
22	0,00	0,00	0,06
23	0,00	617,66	46,46
24	0,00	47,67	0,00
25	0,00	0,00	270,11
26	6.860,95	1.060,35	44,39
27	0,00	0,00	126,38
Total	23.930,28	9.094,33	994,88

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKOFF, R. L.; SASIENI, M. W. **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1971. 523p.

AGUIAR, E. M. de. Racionalização da operação de sistemas de coleta e transporte de resíduos sólidos domiciliares para cidades de pequeno e médio porte. São Paulo, 1993. 145p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

ANJOS, L. A.; BARROS, A. A.; FERREIRA, J. A.; OLIVEIRA, T.C.E.; SEVERINO, K. C.; SILVA, M. O.; WAISSMANN, W. **Gasto energético e carga fisiológica de trabalho em coletores de lixo domiciliar do Rio de Janeiro: um estudo piloto**. Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz, 1995. (Relatório do projeto para o CNPq)

BIGARELLI, W. O bom lixeiro. **Brasil Transportes**, v.34, n.358, p.20-25, jun./jul. 1997.

BRASIL. Governo do Distrito Federal. <http://www.gdf.gov.br> (08 maio 2000)

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Taxa de resíduos sólidos gerados por habitante**. <http://www.mct.gov.br/clima> (04 jan. 2001)

- BROOKE, A.; KENDRICK, D.; MEERAUS, A.; RAMAN, R. **Gams**: a user's guide. Washington: Gams Development Corporation, 1998. 262p.
- BROWN, D. T. **The legacy of the landfill**: perspectives on the solid waste crisis. St. Catharines: Brock University. Institute of Urban and Environmental Studies, 1993. <http://www.brocku.ca/epi/legacy.txt> (08 ago. 2000)
- CAIXETA FILHO, J. V. **Avaliação do potencial de utilização de tecnologias de roteirização por empresas de coleta de resíduos sólidos urbanos**. Piracicaba: USP. ESALQ, 1999. 39p. (Relatório técnico de projeto de pesquisa apoiado pelo CNPq)
- CANASSA, E. M. Planejamento de roteiros dos veículos coletores de resíduos sólidos urbanos. Florianópolis, 1992. 134p. Dissertação (M.S.) - Universidade Federal de Santa Catarina.
- CHAVES, J. R. B. Uma metodologia para o problema do carteiro chinês em redes mistas. Florianópolis, 1985. Dissertação (M.S.) - Universidade Federal de Santa Catarina.
- CONSONI, A. J.; PERES, C. S.; CASTRO, A. P. Origem e composição do lixo. In: D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. (Coord.) **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. 2.ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT/ Compromisso Empresarial para Reciclagem - CEMPRE, 2000. cap.2, p.29-41.
- CONSONI, A. J.; SILVA, I. C.; GIMENEZ FILHO, A. Disposição final do lixo. In: D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. (Coord.) **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. 2.ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT/ Compromisso Empresarial para Reciclagem - CEMPRE, 2000. cap.5, p.251-291.

- CORSON, W. H. (Org.) **Manual global de ecologia**: o que você pode fazer a respeito da crise do meio ambiente. 2.ed. São Paulo: Augustus, 1996. 413p.
- COSTA, M. A. B. Métodos para construção de rotas eulerianas em grafos mistos com aplicação na distribuição de bens e serviços. Campina Grande, 1982. Dissertação (M.S.) - Universidade Federal da Paraíba.
- CUNHA, C. B. da; PICHLER, E. F.; SOBBRAL, F. H. de A.; GIACAGLIA, M. E.; CHAVES, R.; SCHNEIDER, D. M. Serviços de limpeza. In: D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. (Coord.) **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT / Compromisso Empresarial para Reciclagem - CEMPRE, 1995. cap.3.
- D'ALMEIDA, M. L. O.; TERADA, O.; DANILAS, R. M. Tratamento (outros materiais). In: D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. (Coord.) **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT / Compromisso Empresarial para Reciclagem - CEMPRE, 1995. cap.5, parte 3, item 3.6.
- DELUQUI, K. K. Roteirização para veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares utilizando um Sistema de Informação Geográfica. São Carlos, 1998. 222p. Dissertação (M.S.) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos.
- DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. **Preço do óleo diesel**.
http://www.ntu.org.br/banco/insumos/p_od.htm (24 nov. 2000)
- DUARTE, C. R. Gasto energético, ingestão calórica e condições gerais de saúde de coletores de lixo em Florianópolis. Florianópolis, 1998. Dissertação (M.S.) - Universidade Federal de Santa Catarina.

- EISENSTEIN, D. D.; IYER, A. V. Garbage collection in Chicago: a dynamic scheduling model. **Management Science**, v.43, n.7, p.922-933, July 1997.
- FERREIRA, A. B. de H. **Novo dicionário Aurélio da língua portuguesa**. 41.ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986. 1838p.
- GASS, S. I.; HARRIS, C. M. **Encyclopedia of operations research & management science**. London: Kluwer Academic Publishers, 1996. 753p.
- GOMES, M. J. N. O problema de planejamento e percurso de veículos na coleta do lixo urbano domiciliar. Rio de Janeiro, 1990. Dissertação (M.S.) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- GUIA da coleta seletiva de lixo. São Paulo: Compromisso Empresarial para Reciclagem - CEMPRE, 1999. 84p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Resultados Preliminares do Censo 2000**. <http://www.ibge.gov.br> (08 out. 2000)
- JARDIM, N. S.; WELLS, C.; CONSONI, A. J.; AZEVEDO, R. M. B. de. Gerenciamento integrado do lixo municipal. In: D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. (Coord.) **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2.ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT / Compromisso Empresarial para Reciclagem - CEMPRE, 2000. cap.1, p.3-25.
- KADO, T. M. N. Análise do método de AS (Simulated Annealing) aplicado à roteirização de veículos coletores de resíduos sólidos urbanos domiciliares. São Carlos, 1998. 148p. Dissertação (M.S.) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos.
- KULCAR, T. Optimizing solid waste collection in Brussels. **European Journal of Operational Research**, n.90, p.71-77, 1996.

- LEE, S. M.; MOORE, L. J.; TAYLOR, B. W. **Management science**. 3.ed. Boston: Allyn and Bacon, 1990. 901p.
- MACDONALD, M. L. A multi-attribute spatial decision support system for solid waste planning. **Computers, Environment, and Urban Systems**, v.20, n.1, p.1-17, 1996.
- MANDL, C. **Applied network optimization**. New York: Academic Press, 1979. 175p.
- MANSUR, G. L.; MONTEIRO, J. H. R. P. **O que é preciso saber sobre limpeza urbana**. Rio de Janeiro: Centro de Estudos e Pesquisas Urbanas do Instituto Brasileiro de Administração Municipal. <http://www.resol.com.br> (20 jul. 2001)
- MATION, H. Caminhos eulerianos de mínimo custo em grafos orientados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL; CONGRESSO LATINO AMERICANO DE PESQUISA OPERACIONAL E ENGENHARIA DE SISTEMAS, 1., Rio de Janeiro, 1982. **Anais**, Rio de Janeiro: Aula, 1982. v.2, p.483-92.
- MINAS GERAIS. Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. <http://www.pbh.gov.br> (10 ago. 2000)
- MUTTIAH, R. S.; ENGEL, B. A.; JONES, D. D. Waste disposal site selection using gis-based simulated annealing. **Computers & Geosciences**, v.22, n.9, p.1013-1017, 1996.
- PARRA, R.; DANTAS, M. L. S.; PICHLER, E. F.; CUNHA, C. B. da. Acondicionamento e Coleta do Lixo. In: D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. (Coord.) **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2.ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT / Compromisso Empresarial para Reciclagem - CEMPRE, 2000. cap.3, p.45-77.

- PERAL, L. R. O. del. **Resíduos sólidos urbanos**. Madrid: Centro de Publicaciones del Ministério de Obras Públicas y Urbanismo, 1989. 78p.
- PHILIPPI JUNIOR, A. **Sistema de resíduos sólidos**: coleta e transporte no meio urbano. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, 1986. 182p.
- PINTO, K. C. R. **Aprendendo a decidir com a pesquisa operacional**: modelos e métodos de apoio à decisão. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2000. 109p.
- PRANDINI, F. L.; D'ALMEIDA, M. L. O.; JARDIM, N. S.; MANO, V. G. T.; WELLS, C.; CASTRO, A. P. de; SCHNEIDER, D. M. O gerenciamento integrado do lixo municipal. In: D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. (Coord.) **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT / Compromisso Empresarial para Reciclagem - CEMPRE, 1995. cap.1.
- QUERZOLI, A. Há sempre uma boa opção para o lixo urbano. **Dirigente Municipal**, v.19, n.7, jul. 1988.
- RAVINDRAN, A.; PHILLIPS, D. T.; SOLBERG, J. J. **Operations research**: principles and practice. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 1986. 637p.
- ROTH, B. W.; ISAIA, E. M. B. I.; ISAIA, T. Destinação final dos resíduos sólidos urbanos. **Ciência e Ambiente**, n.18, p.25-40, jan./jun. 1999.
- SÃO PAULO. Prefeitura de São Paulo. **Lixo**: problema ou solução. <http://www.prodham.pmsp.sp.gov.br> (19 jun. 2000)

SUDHIR, V.; MURALEEDHARAN, V. R.; SRINIVASAN, G. Integrated solid waste management in urban India: a critical operational research framework. **Socio Economic Planning Sciences**, v.30, n.3, p.163-181, 1996.