

### III-006 – ANÁLISE DE USO DE SIG NO SISTEMA DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES EM CIDADES DE PEQUENO PORTE

#### **Luzenira Alves Brasileiro<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil; Doutora em Transportes pela Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP. Professora Assistente Doutora do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – FEIS/UNESP.

#### **Márcio Gonçalves Lacerda**

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – FEIS/UNESP. Atualmente aluno de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, na área de Tecnologias Ambientais e Recursos Hídricos da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – FEIS/UNESP. Bolsista CAPES.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Alameda Bahia, 550 - Centro – Ilha Solteira - SP - CEP: 15385-000 - Brasil - Tel: (18) 3742-1137 - Fax: (18) 3743-1160 - e-mail: [luzenira@dec.feis.unesp.br](mailto:luzenira@dec.feis.unesp.br)

#### **RESUMO**

A urbanização acelerada e o rápido adensamento das cidades resultam na utilização predatória de recursos naturais e na degradação do meio ambiente. Um dos maiores problemas para se atender a esta demanda crescente de bens de consumo é a produção cada vez mais volumosa de resíduos sólidos - lixo - nos centros urbanos. Este problema é agravado pela falta de conscientização dos indivíduos e pela precariedade dos serviços de coleta oferecidos à população.

As cidades de pequeno porte, que correspondem à grande maioria das cidades brasileiras, se caracterizam por planejarem e operarem seus sistemas de limpeza pública de forma empírica. Os dados e parâmetros utilizados no dimensionamento das atividades operacionais são resultantes da experiência das pessoas e, em geral, não passaram por avaliações e análises sistemáticas. As administrações municipais não dispõem de recursos suficientes para implementarem soluções adequadas. Em muitas situações, isso faz com que haja uma redução na coleta de lixo, uma vez que o custo de coleta dos resíduos é a parte mais alta do gasto no gerenciamento de resíduos sólidos. Assim, a otimização no serviço de coleta dos resíduos pode gerar grande economia. Uma solução seria buscar uma alternativa que associe dados operacionais à tecnologia disponível.

A existência de uma representação da rede de trabalho de uma cidade através de um SIG (Sistema de Informação Geográfica) pode conferir representatividade e fidelidade às condições reais em que os deslocamentos do veículo coletor ocorrem. Este trabalho tem como objetivo analisar o uso de um SIG no sistema de coleta de resíduos sólidos domiciliares em uma cidade de pequeno porte.

O estudo de caso será realizado na cidade de Ilha Solteira – SP, que possui uma população de aproximadamente 24.000 habitantes. O serviço de coleta de lixo domiciliar na cidade é de responsabilidade do poder público municipal, e será caracterizado através de coleta de dados. Esses dados servirão como base para simular rotas utilizando o software TransCAD. Os resultados serão analisados em termos de distância, tempo e custo de viagem. As rotas simuladas serão comparadas com as rotas praticadas atualmente na realização do serviço de coleta de resíduos sólidos domiciliares.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos Sólidos, SIG, Roteirização de Veículos de Coleta.

#### **INTRODUÇÃO**

A limpeza urbana é um serviço público essencial, formado por vários sistemas operacionais, de competência local do município (seja pela atuação direta ou pelo gerenciamento de serviços terceirizados) e que constitui um dos grandes e complexos problemas de saneamento básico das pequenas, médias e grandes cidades do País. Os problemas decorrentes de um serviço de limpeza precário são bem diferentes de município para município. Porém, pode-se garantir que, frente aos recursos humanos e materiais de cada administração, as suas dificuldades serão sempre grandes.



De acordo com Borges (2002), em decorrência do produto gerado pela limpeza urbana ser um material perecível - o lixo - torna-se importante, a rapidez na prestação do serviço, com garantia de abrangência, regularidade, eficiência, eficácia e efetividade. Acresce, ainda, que dos serviços prestados pelo Poder Público à comunidade, é a limpeza urbana que tem um contato diário e permanente com toda a população. Qualquer deficiência na prestação do serviço gera imediatamente, crítica à administração municipal, do mesmo modo que um serviço de qualidade bem executado, forma uma imagem bastante positiva da cidade e dos seus dirigentes e administradores públicos, garantindo melhor qualidade de vida para toda a população.

As cidades de pequeno porte se caracterizam por planejarem e operarem seus sistemas de limpeza pública com muito empirismo e improvisações ao invés de ações planejadas. Os dados e parâmetros utilizados no dimensionamento das atividades operacionais são resultantes da experiência das pessoas e, em geral, não passaram por avaliações e análises sistemáticas. A falta de uma estrutura organizacional adequada de recursos humanos capacitados aliados às dificuldades de gerenciamento, induz os administradores a eleger a coleta e o transporte do lixo como a preocupação principal, ignorando que o problema do lixo deve ser tratado como um sistema único, no qual as partes constituintes, inclusive o destino final do lixo, tem igual importância.

A coleta de resíduos é uma das atividades mais importantes a serem desenvolvidas dentro de um sistema de gerenciamento de resíduos sólidos, sendo a sua importância decorrente de elevados custos operacionais (equipamento e pessoal envolvido), bem como do aspecto ambiental a que está relacionado. De acordo com o IPT e CEMPRE (1995), cerca de 50% dos recursos de um orçamento municipal são destinados à coleta e ao transporte dos resíduos. Por esta razão, as operações de coleta e transporte são negócios significativos para a administração da cidade. Desta forma, torna-se importante um serviço bem planejado.

Para Deluqui (1998), a otimização do processo de coleta deve buscar a máxima satisfação da população com a prestação de serviços através da adequada consideração dos aspectos de qualidade, custos, atendimento e proteção à saúde pública. Sendo assim, é fundamental que se estabeleça um controle operacional dos serviços prestados que permitam a avaliação do mesmo.

O presente trabalho visa analisar o uso de SIG (Sistema de Informação Geográfica) na coleta de resíduos sólidos domiciliares em uma cidade de pequeno porte. O software TransCAD é um Sistema de Informação Geográfica específico para profissionais de transportes, que permite desenvolver rotas utilizando-se de algoritmos que incluem um procedimento de roteirização em arco (*Rotina Arc Routing*). O objetivo desta rotina é minimizar a extensão total a ser percorrida pelos veículos coletores.

### **APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA**

As cidades tiveram um crescimento acelerado e muitas vezes desordenado. Ao mesmo tempo, as mudanças econômicas e tecnológicas alteraram os hábitos de consumo dos cidadãos, gerando o aumento e a diversificação do volume dos resíduos sólidos e da sua composição qualitativa, implicando ainda, no surgimento de hábitos prejudiciais ao bem-estar social, que favorecem a progressiva degradação da qualidade de vida e ambiental devido ao grande descaso em relação aos dejetos produzidos.

Nas cidades onde os serviços de limpeza urbana são deficientes ou precários, comumente se observa a existência de focos de lixo pelas ruas, em terrenos baldios, nas margens e nos leitos dos cursos d'água. O acúmulo de lixo ocasiona grandes problemas, e principalmente, destrói o meio ambiente. O lixo é capaz de causar alguns impactos ao meio ambiente, tais como: degradação ambiental, deslizamentos, enchentes, desenvolvimento de transmissores de enfermidades, poluição das águas superficiais e subterrâneas, e poluição do solo e ar. Um planejamento eficiente e eficaz possibilitará um sistema de limpeza urbana adequado às necessidades locais e conseqüentemente minimizará os atuais e futuros efeitos danosos à qualidade de vida dos cidadãos.

A limpeza urbana em todo o País é uma ação normalmente realizada pela administração pública (seja pela atuação direta ou pelo gerenciamento de serviços terceirizados). Tem sido um setor muitas vezes negligenciado (com limites nos investimentos), muitas vezes afetado por injunções políticas, ou ainda os modelos administrativos/organizacionais adotados tornaram-se inadequados em função do crescimento desordenado das cidades e de seus problemas (ambientais, econômicos, sociais, etc). Este quadro reflete o descaso com que a maioria dos municípios brasileiros encara a questão, não realizando sequer a coleta de maneira eficiente.



Segundo uma classificação proposta por Sanches (*apud* DELUQUI, 1998), cidades com população entre 20.000 e 50.000 habitantes são consideradas cidades de pequeno porte. Estas cidades correspondem à grande maioria dos municípios brasileiros e se caracterizam por planejarem e operarem seus sistemas de limpeza pública, usualmente com soluções locais. As administrações municipais não dispõem de recursos suficientes para implementarem soluções adequadas. No entanto, essas soluções acabam sendo dificultadas por problemas, tal como a limitação financeira, através de orçamentos inadequados e arrecadação insuficiente. Em muitas situações, isso faz com que haja uma redução na coleta de lixo. Assim, a otimização no serviço de coleta dos resíduos pode gerar grande economia.

A existência de uma representação da rede de trabalho de uma cidade através de um SIG (Sistema de Informação Geográfica) pode conferir representatividade e fidelidade às condições reais em que os deslocamentos do veículo coletor ocorrem. Um SIG pode determinar um roteamento com valores reduzidos de quilometragem e custo que possa suprir a demanda existente.

### **ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES**

A operação de coleta de resíduos sólidos domiciliares caracteriza-se pelo envolvimento dos cidadãos, que devem acondicioná-los adequadamente e apresentá-los em dias, locais e horários pré-estabelecidos. Este serviço consiste em remover os resíduos dos locais de onde foram acondicionados, englobando desde a partida do veículo da garagem e todo o percurso gasto na viagem. O término ocorre quando o resíduo é descartado nos locais de processamento ou disposição final. Para que o serviço de coleta de lixo ocorra de forma satisfatória, é necessária a implantação de um sistema eficiente, que opere em toda a área urbana e também que seja regular, ou seja, os veículos coletores devem passar regularmente nos mesmos locais, dias e horários.

Segundo Briones (2000), o serviço de coleta de lixo envolve inúmeros componentes, dos quais o principal é o resíduo orgânico, que representa de 55% a 60% do lixo doméstico. A significativa presença de matéria orgânica em decomposição, encontrada nos resíduos sólidos domiciliares, determina a necessidade de transporte ágil e destinação final imediata. Este serviço impede o desenvolvimento de vetores transmissores de doenças, que encontram alimento e abrigo no lixo.

A coleta de lixo é mais deficiente nas áreas mais pobres das cidades, justamente as que são vizinhas dos cursos d'água. E são exatamente esses rios que acabam se tornando local de despejo de lixo por parte dessa parcela da população. Daí surgem problemas que afetam diretamente a população, tais como: assoreamento de rios e canais, poluição das águas, contaminação dos lençóis d'água e poluição atmosférica. Para Deluqui (1998), a gravidade desses problemas é de ordem econômica e social, prejudicando a saúde pública e levando a maioria das prefeituras a considerar mais a questão da coleta dos resíduos sólidos.

O serviço de coleta de resíduos sólidos é um dos serviços mais caros fornecidos pela cidade a suas residências. De acordo com o IPT e CEMPRE (1995), cerca de 50% dos recursos de um orçamento municipal são destinados à coleta e ao transporte dos resíduos. Por esta razão, as operações de coleta e transporte são negócios significativos para a administração da cidade. Trata-se de um dos problemas operacionais mais difíceis, encarados pelo poder local.

Segundo Hanafi *et al.* (1999), o planejamento de rotas de coleta depende de condições humanas e recursos, tais como: facilidades de construções, localização de depósitos de lixo, centros de transferência, composição e tamanho dos veículos de coleta de lixo, tipo de resíduo, frequência de coleta etc.

Entre todos os objetivos que possam ser levados em consideração, o planejamento de rotas balanceadas é entendido como o que mais reduz os custos. A cidade é dividida em um número fixo de setores de coleta de resíduos para que minimize a carga de trabalho (tempo) por setor. Para cada setor, as rotas são projetadas satisfazendo todas as restrições conhecidas. Usualmente, a coleta de resíduos é feita semanalmente.

Hickman (1981) destacou alguns pontos que se pode identificar para equilibrar as rotas dos veículos coletores de resíduos sólidos domiciliares:

- Estimar o número de veículos e equipes de coleta;
- Desenvolver ou avaliar o custo de serviços terceirizados;



- Avaliar o rendimento da equipe de coleta, em conjunto ou individualmente;
- Balancear a quantidade de trabalho a ser realizado pelos coletores;
- Determinar o tamanho ótimo de novas frotas de veículos ou otimizar o uso da existente.

O problema de percurso na coleta de resíduos sólidos domiciliares é definir um conjunto de rotas que atendem a um conjunto de determinadas áreas. Este problema está relacionado ao Problema de Percursos em Arcos ou Problema de Roteirização em Arcos (Arc Routing Problem – ARP). Nos Problemas de Roteirização em Arcos (ARPs), o objetivo é determinar o menor custo de travessia sobre um conjunto de arcos especificados de um grafo, com ou sem restrições (EISELT *et al.*, 1995).

Talvez a mais antiga referência documentada aos ARPs é o famoso problema das pontes Königsberg. A meta é determinar se existe um caminho fechado atravessando exatamente uma vez cada uma das sete pontes sobre o Rio Pregel em Königsberg, agora chamada Kaliningrad. O problema foi elaborado pelo matemático suíço Leonhard Euler em 1736, que encontrou condições para existência de um caminho fechado. A questão de determinar tal caminho foi discutida e resolvida mais de um século depois, por Hierholzer, em 1873.

Outro Problema de Roteirização em Arcos bem conhecido é o chamado Problema do Carteiro Chinês proposto por *Meigu Guan* (ou *Kwan Mei-Ko*). Segundo Eiselt *et al.* (1995), a diferença para o problema das pontes de Königsberg é somente com respeito a existência e determinação de um caminho fechado. Neste caso, a meta é determinar um caminho de comprimento mínimo cobrindo cada segmento pelo menos uma vez.

A roteirização de veículos pode ser definida através do método empírico ou do método matemático. No método empírico, as rotas são definidas com base na experiência particular dos operadores. Quando os operadores possuem grande experiência sobre a área, os métodos empíricos utilizam dados sobre as ruas, observando o grau de intensidade do tráfego, tipo de pavimentação, acidentes geográficos, declividades existentes e outros parâmetros que, com o auxílio de um mapa da cidade, permitem calcular os roteiros e o tempo gasto no serviço de coleta. Este método consome tempo e não necessariamente é eficiente.

No método matemático, as rotas são definidas com base nas variáveis referentes aos locais de visita, tais como distância e tempo de viagem. O processo matemático de roteirização pode ser feito por método manual ou computacional. No método manual, utiliza-se um algoritmo com estratégia de solução para o problema. Porém, os métodos manuais de planejamento do serviço de coleta produzem resultados de forma demorada e também exigem do planejador experiência e conhecimento sobre a área de atuação.

O método computacional é uma técnica matemática automatizada que também utiliza um algoritmo, mas a roteirização é definida através de computador. Neste método, o software é chamado de roteirizador. O software do tipo roteirizador define a melhor rota segundo a variável que se quer otimizar – distância ou tempo de viagem. Alguns softwares utilizados para a roteirização de veículos não realizam apenas esta tarefa. Além de definir a rota, os softwares desempenham um mapeamento computadorizado e permitem um gerenciamento da base de dados. Esses softwares são chamados de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Neste caso, um algoritmo para roteamento de veículos é integrado a um SIG, de cuja base de dados se obtém as informações necessárias para o roteamento que mostra as rotas resultantes.

## SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA - SIG

Segundo Dantas *et al.* (1996), pode-se considerar o SIG como um tipo de Sistema de Informação, que envolve de forma sistêmica e interativa, banco de dados, tecnologia e pessoal, sendo capaz de realizar análises espaciais, armazenar, manipular, visualizar e operar dados georeferenciados para obtenção de novas informações.

O termo SIG é freqüentemente usado para descrever inúmeras aplicações e sistemas. Ele cobre grandes áreas, envolvendo dados espaciais que criam confusão na mente dos pesquisadores mais novos. Por esta razão uma definição simples é dada por Aldosary e Zaheer (1996), que definem SIG como um sistema computadorizado que pode reunir e usar dados que descrevem sua posição natural sobre a superfície terrestre. As principais funções do SIG são coletar, armazenar, manipular, analisar e exibir dados.



De uma maneira geral, um SIG pode ser visto como um sistema composto por um banco de dados, por um conjunto de software destinado à execução de operações sobre os dados (análise espacial) e pelo hardware. Um SIG é constituído basicamente por um mapeador temático automatizado, onde as informações obtidas são representadas na forma de camadas ou *layers* e tais características se unem à potencialidade dos bancos de dados automatizados.

A tecnologia SIG está explorando novas áreas de aplicações e o uso de SIG tem aumentado em um grande taxa. Hanigan (*apud* Aldosary e Zaheer, 1996) descreveu as aplicações do SIG na área de serviços públicos. Os serviços públicos de eletricidade, gás, água, resíduos e telefone têm admitido grande aceitação da tecnologia SIG. No estudo de roteirização de veículos, os SIGs são utilizados como interface. A solução do problema de roteirização de veículos é obtida através de algoritmos baseados em métodos matemáticos.

O SIG-T, por sua vez, é um Sistema de Informação Geográfica que integra procedimentos para o planejamento, gerenciamento e análise de sistemas de transporte (TANURE, 1999). As aplicações do SIG-T são diversificadas. Entre elas, pode-se citar o transporte coletivo urbano, rodoviário, de carga, coleta de lixo e na Engenharia de Tráfego. Essa crescente utilização pode ser atribuída as características dos SIGs, que com a evolução dos recursos computacionais, permitiu o desenvolvimento de tecnologias capazes de gerenciar grande quantidade de informações de forma rápida e a custos relativamente baixos.

O uso do SIG em programas de gerenciamento de resíduos sólidos tem sido o novo foco de estudo dos pesquisadores operacionais. Devido às variações espaciais e temporais sobre os fatores sociais, econômicos e regionais, os programas de gerenciamento de resíduos sólidos têm se reorganizado freqüentemente. O custo de coleta dos resíduos representa uma grande parte do gasto municipal no gerenciamento de resíduos sólidos, e assim, a otimização do serviço de coleta pode gerar grande economia.

### **MATERIAIS E MÉTODO**

A coleta dos dados foi realizada através do formulário que está mostrado na Figura 1.

O estudo de caso foi realizado na cidade de Ilha Solteira/SP, localizada na região noroeste do Estado. A cidade possui uma população de aproximadamente 24.000 habitantes. Os dados coletados foram utilizados para realizar simulações através de um Sistema de Informação Geográfica - SIG.

A coleta de resíduos sólidos domiciliares na cidade é realizada por setor. Assim, os dados foram coletados também por setor, determinando o tempo, a quilometragem e a rota de cada viagem através de observação em campo. Determinou-se também a quantidade gerada de resíduos em cada setor através de pesagem do resíduo total coletado.

O software que foi utilizado é denominado comercialmente de TransCAD. Este software permite desenvolver rotas utilizando-se de algoritmos que incluem um procedimento de roteirização em arco (*Arc Routing*), objetivando minimizar a extensão total a ser percorrida pelos veículos coletores (CALIPER, 1996). Os resultados foram analisados através do estudo dos arquivos de saída de dados produzidos pelo software.

A análise do uso de SIG na coleta de resíduos sólidos domiciliares em uma cidade de pequeno porte foi realizada através da comparação entre as rotas simuladas e as praticadas atualmente pelo sistema estudado, em termos de distância e tempo de viagem.

Coleta de Lixo Domiciliar		
Dia da semana:		
Data:		
Veículo:		
Área de Coleta:		
1 <sup>o</sup> Viagem	Saída da Garagem:	Quilom./
	Início da 1 <sup>o</sup> Coleta:	Quilom./
	Fim da 1 <sup>o</sup> Coleta:	Quilom./
	Descarga no Lixão:	Quilom./
2 <sup>o</sup> Viagem	Saída do Lixão:	Quilom./
	Início da 2 <sup>o</sup> Coleta:	Quilom./
	Fim da 2 <sup>o</sup> Coleta:	Quilom./
	Descarga no Lixão:	Quilom./
3 <sup>o</sup> Viagem	Saída do Lixão:	Quilom./
	Início da 3 <sup>o</sup> Coleta:	Quilom./
	Fim da 3 <sup>o</sup> Coleta:	Quilom./
	Descarga no Lixão:	Quilom./
Almoço	Saída do Lixão:	Quilom./
	Chegada na Garagem:	Quilom./
4 <sup>o</sup> Viagem	Saída da Garagem:	Quilom./
	Início da 4 <sup>o</sup> Coleta:	Quilom./
	Fim da 4 <sup>o</sup> Coleta:	Quilom./
	Descarga no Lixão:	Quilom./
Final	Saída do Lixão:	Quilom./
	Retorno a Garagem:	Quilom./

Figura 1: Formulário de pesquisa sobre coleta de resíduos sólidos domiciliares.

## O SOFTWARE TransCAD

Para Cairns (1998), o software TransCAD possibilita a definição de redes, viagens, matrizes e tem uma série de algoritmos desenvolvidos para transporte, fornecendo uma funcionalidade adicional às tradicionais ferramentas disponíveis em um SIG. As funções de SIG no TransCAD podem ser utilizadas para preparar, visualizar, analisar e apresentar o caso em estudo. Além de utilizar os módulos aplicativos para solucionar problemas de roteirização e logística, envolvendo o transporte de maneira mais prática e eficiente do que outros produtos.

O software TransCAD, segundo Santos (1999), além das vantagens proporcionadas por um SIG, tem módulo específico que trata de logística e roteirização, compostos em capítulos por abordagens, tais como:

- Problemas de fluxo em rede
- Localização de instalações
- Distritamento
- Agrupamento
- Roteirização em arcos e em nós

O TransCAD inclui um procedimento de roteamento em arco, com ferramentas para mostrar e trabalhar com rotas que atravessam um conjunto de ligações em uma rede de transporte. A rotina utilizada para o roteamento em arco chama-se *Arc Routing*. Segundo Deluqui (1998), o TransCAD utiliza o método de programação linear para roteirização em arco. O algoritmo toma como solução inicial um número mínimo de nós a serem carregados, verificando se a solução pode ser melhorada. Quando consegue ligar o nó de origem ao de destino, utilizando-se o número mínimo possível de ligações e minimizando o número de ligações percorridas sem a realização do serviço, o algoritmo pára de carregar os nós.

Para aplicação da rotina *Arc Routing* foram escolhidos alguns atributos:

- Minimizar comprimento total (*Minimize Length*);

- Serviço AB ou Serviço BA (*Service Flag*) que indica o lado da via que necessita ser atendida pelo serviço de coleta;
- Código de serviço (*Service Code*) que corresponde ao número do setor. O TransCAD traça uma rota para cada setor, por exemplo, se fosse escolhido o código 1, o procedimento iria construir uma rota servindo todas as ligações que apresentassem o número 1;
- Implementação da variável produção de lixo em todos setores de estudo. Isso foi possível devido a ferramenta *Shift* presente na rotina *Arc Routing*.

O TransCAD resolve o problema de roteirização em arco, exibe relatórios de saída de dados e o sistema de rota. A visualização da rota na tela não se apresenta de uma forma clara, sendo então, indispensável a consulta ao relatório de itinerário quando se deseja obter mais detalhes sobre a rota do veículo no setor de coleta.

## ESTUDO DE CASO

O responsável pela execução dos serviços de coleta de resíduos sólidos domiciliares em Ilha Solteira é a própria Prefeitura Municipal. A operação de coleta acontece durante seis dias da semana (segunda-feira a sábado), no período da manhã. Nas segundas-feiras e nos dias após os feriados, quando a quantidade de resíduo gerado é maior, há a necessidade da realização de uma coleta adicional no período da tarde. No período da manhã, a coleta ocorre das 7:00 h às 12:00 h e quando necessário no período da tarde, o serviço é realizado das 14:00 h até por volta das 16:00 h.

Atualmente, a frota é composta por três veículos. Dois veículos são do tipo caçamba metálica fechada, dotados de dispositivo hidráulico de prensagem, que permite a redução do volume aparente do lixo. Um desses veículos têm capacidade para 8 ton e o outro para 5 ton. O terceiro veículo é do tipo caçamba metálica aberta e não dispõe de dispositivo de prensagem. Sua capacidade também é de 5 ton. Apesar de terem esses valores de capacidade, os veículos não transportam toda essa quantidade de resíduo, uma vez que o volume desse resíduo reduz a capacidade de transporte. Desta forma, a capacidade dos veículos se reduzem a respectivamente 5 ton, 3,5 ton e 2 ton. Todos os três veículos se encontram em bom estado de conservação, não apresentando problemas operacionais que prejudiquem a execução do serviço.

A cidade de Ilha Solteira é dividida em três setores de coleta, sendo que cada um é coberto por um único veículo. Cada veículo possui uma equipe de três garis e um motorista. Para cada setor de coleta é proposto um itinerário a ser cumprido pelo veículo coletor. O roteiro de coleta é definido pelo próprio motorista, baseado em distância, capacidade do veículo e em seu conhecimento geográfico. O itinerário de cada motorista é o mesmo para todos os dias da semana.

Quando o veículo atinge aproximadamente a carga máxima, o motorista o conduz para o local de destinação final, conhecido como lixão, já que o lixo é espalhado em um terreno baldio a céu aberto, sem nenhum tipo de tratamento ou medidas de proteção ao meio-ambiente.

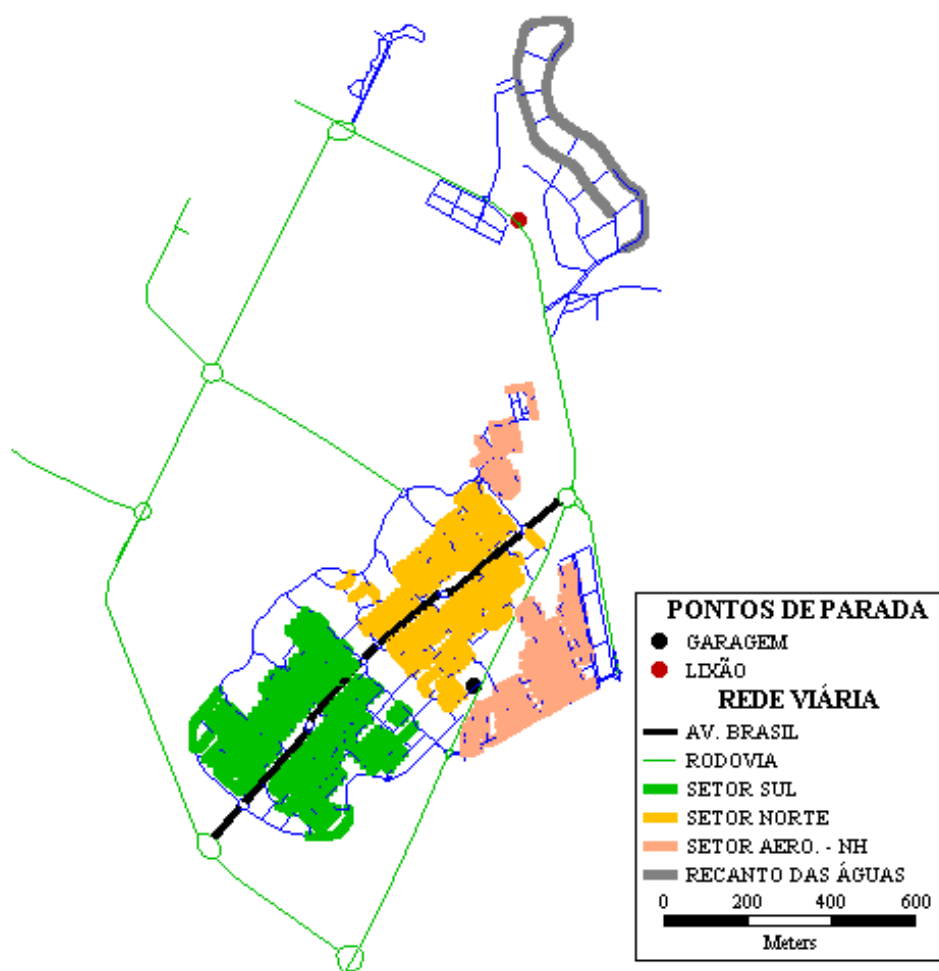
Os dados a seguir são representativos da produção média diária de lixo em um estudo de pesagem realizado durante três semanas em 2001:

**Tabela 1: Demonstrativo da produção diária de lixo em Ilha Solteira/SP.**

Dia	Peso (kg)
Segunda-feira	21.670
Terça-feira	11.019
Quarta-feira	10.989
Quinta-feira	11.055
Sexta-feira	9.803
Sábado	9.223

## RESULTADOS OBTIDOS

As simulações utilizando a rotina *Arc Routing* foram realizadas baseando-se nos setores atualmente percorridos pelos veículos de coleta. A cidade de Ilha Solteira apresenta três setores de coleta, sendo denominados da seguinte forma: Setor 1 ou Setor Norte, Setor 2 ou Setor Sul e Setor 3 ou Setor Jardim Aeroporto/Jardim Novo Horizonte/Recanto das Águas/CDHU. A Figura 2 apresenta a localização geográfica destes setores.



**Figura 2: Localização dos setores de coleta de lixo de Ilha Solteira/SP.**

Os atributos foram associados aos diferentes tipos de vias, conforme a necessidade da via ser atendida pelo serviço de coleta. Um arquivo de banco de dados contendo informações, tais como comprimento de vias, velocidade do veículo na via e sentido de tráfego, foi utilizado pelo algoritmo de roteamento. Neste mesmo arquivo, também foi inserida a informação de produção de lixo ao longo de cada via.

Com a base de dados pronta, criou-se a rede de transportes, considerando restrições de movimento em alguns pontos da rede, particularmente para retornos em U.

A aplicação da rotina teve como objetivo minimizar a distância total percorrida. A representação gráfica do roteamento pode ser visualizada na Figura 3.



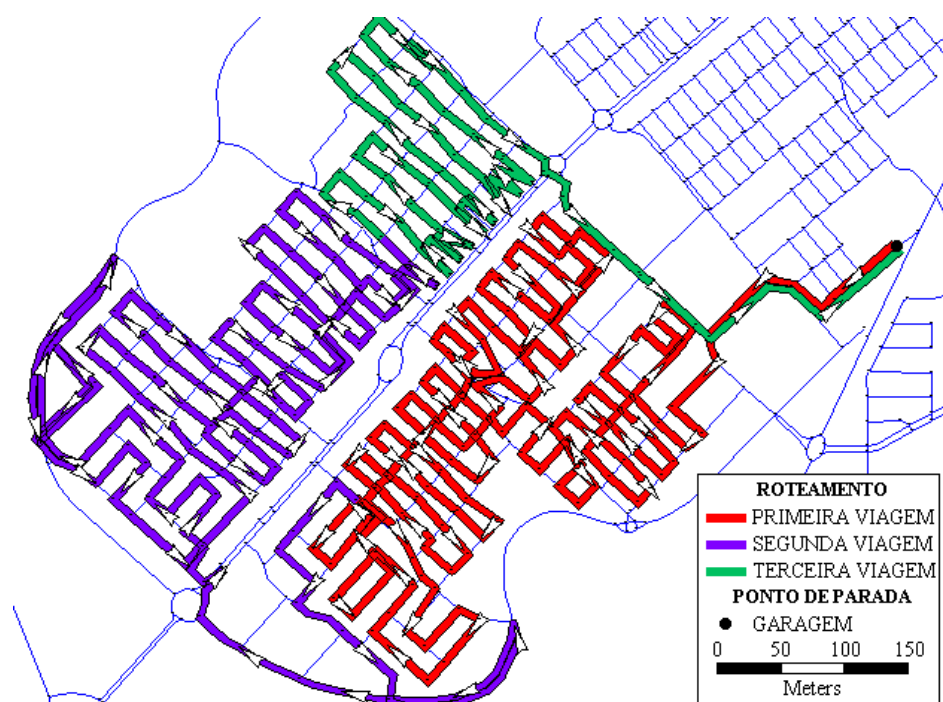


Figura 3: Representação gráfica do roteamento do veículo coletor.

Os dados coletados pelos motoristas são apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4. Os resultados da rotina *Arc Routing* estão mostrados nas Tabelas 5, 6 e 7. Ainda nestas tabelas, estão ilustrados o cálculo dos parâmetros operacionais para cada setor.

**Tabela 2: Parâmetros operacionais de coleta para o setor 1, obtidos a partir dos dados coletados pelo motorista do veículo.**

Distância e Tempo Percorridos	Segunda-feira		Terça-feira		Quarta-feira		Quinta-feira		Sexta-feira		Sábado	
	(km)	(min)	(km)	(min)	(km)	(min)	(km)	(min)	(km)	(min)	(km)	(min)
Garagem-Início 1 <sup>o</sup> coleta	1,0	10	1,0	5	1,0	10	3,0	8	1,0	2	1,0	1
Percurso 1 <sup>o</sup> coleta	14,0	150	25,0	240	28,0	275	24,0	224	27,0	250	27,0	267
Fim 1 <sup>o</sup> coleta - Lixão	3,0	10	5,0	8	4,0	5	5,0	9	4,0	9	4,0	10
Descarga no Lixão	-	5	-	5	-	2	-	2	-	3	-	6
Lixão - Início 2 <sup>o</sup> coleta	4,0	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Percurso 2 <sup>o</sup> coleta	10,0	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fim 2 <sup>o</sup> coleta - Lixão	5,0	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Descarga no Lixão	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lixão - Garagem	5,0	8	5,0	8	5,0	8	4,0	10	4,0	11	4	4
<b>Total Percorrido</b>	<b>42,0</b>	<b>382</b>	<b>36,0</b>	<b>266</b>	<b>38,0</b>	<b>300</b>	<b>36,0</b>	<b>253</b>	<b>36,0</b>	<b>275</b>	<b>36,0</b>	<b>288</b>
<b>Parâmetros Analisados</b>												
Número de Viagens	2		1		1		1		1		1	
Rota de Coleta no Setor	24,0	330	25,0	240	28,0	275	24,0	224	27,0	250	27,0	267
Percurso Vazio	10,0	23	6,0	13	6,0	18	7,0	18	5,0	13	5,0	5
Percurso Cheio	8,0	21	5,0	8	4,0	5	5,0	9	4,0	9	4,0	10
Descarga Total no Lixão	-	8	-	5	-	2	-	2	-	3	-	6

**Tabela 3: Parâmetros operacionais de coleta para o setor 2, obtidos a partir dos dados coletados pelo motorista do veículo.**

Distância e Tempo Percorridos	Segunda-feira		Terça-feira		Quarta-feira		Quinta-feira		Sexta-feira		Sábado	
	(km)	(min)	(km)	(min)	(km)	(min)	(km)	(min)	(km)	(min)	(km)	(min)
Garagem-Início 1 <sup>o</sup> coleta	1,0	5	1,0	5	1,0	5	1,0	5	1,0	5	1,0	5
Percurso 1 <sup>o</sup> coleta	10,0	105	16,0	130	16,0	130	18,0	125	17,0	135	16,0	115
Fim 1 <sup>o</sup> coleta - Lixão	10,0	10	8,0	15	8,0	15	7,0	15	8,0	13	7,0	14
Descarga no Lixão	-	5	-	2	-	5	-	4	-	2	-	3
Lixão - Início 2 <sup>o</sup> coleta	5,0	10	7,0	8	7,0	10	8,0	6	9,0	12	8,0	10
Percurso 2 <sup>o</sup> coleta	11,0	125	15,0	120	10,0	65	16,0	110	16,0	118	18,0	120
Fim 2 <sup>o</sup> coleta - Lixão	7,0	10	6,0	10	7,0	15	7,0	10	6,0	11	7,0	10
Descarga no Lixão	-	3	-	5	-	5	-	5	-	2	-	5
Lixão - Início 3 <sup>o</sup> coleta	4,0	12	-	-	6,0	5	-	-	-	-	-	-
Percurso 3 <sup>o</sup> coleta	8,0	65	-	-	6,0	45	-	-	-	-	-	-
Fim 3 <sup>o</sup> coleta - Lixão	7,0	5	-	-	6,0	10	-	-	-	-	-	-
Descarga no Lixão	-	2	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-
Lixão - Garagem	5,0	3	5,0	5	5,0	10	5,0	5	5,0	5	5,0	5
Total Percorrido	68,0	360	58,0	300	72,0	325	62,0	285	62,0	303	62,0	287
Parâmetros Analisados												
Número de Viagens	3		2		3		2		2		2	
Rota de Coleta no Setor	29,0	295	31,0	250	32,0	240	34,0	235	33,0	253	34,0	235
Percurso Vazio	15,0	30	13,0	18	19,0	30	14,0	16	15,0	22	14,0	20
Percurso Cheio	24,0	25	14,0	25	21,0	40	14,0	25	14,0	24	14,0	24
Descarga Total no Lixão	-	10	-	7	-	15	-	9	-	4	-	8

**Tabela 4: Parâmetros operacionais de coleta para o setor 3, obtidos a partir dos dados coletados pelo motorista do veículo.**

Distância e Tempo Percorridos	Segunda-feira		Terça-feira		Quarta-feira		Quinta-feira		Sexta-feira		Sábado	
	(km)	(min)	(km)	(min)	(km)	(min)	(km)	(min)	(km)	(min)	(km)	(min)
Garagem-Início 1 <sup>o</sup> coleta	2,0	6	7,0	5	2,0	5	2,0	5	2,0	4	2	5
Percurso 1 <sup>o</sup> coleta	7,0	144	5,0	55	19,0	175	17,0	160	12,0	126	16	130
Fim 1 <sup>o</sup> coleta - Lixão	5,0	10	2,0	10	3,0	10	4,0	10	5,0	10	4	10
Descarga no Lixão	-	5	-	5	-	5	-	3	-	5	-	5
Lixão - Início 2 <sup>o</sup> coleta	5,0	5	3,0	10	4,0	10	3,0	7	4,0	13	5	12
Percurso 2 <sup>o</sup> coleta	7,0	140	7,0	65	5,0	30	15,0	55	13,0	112	18	58
Fim 2 <sup>o</sup> coleta - Lixão	5,0	10	2,0	10	3,0	10	1,0	2	4,0	8	1	4
Descarga no Lixão	-	5	-	3	-	3	-	5	-	3	-	4
Lixão - Início 3 <sup>o</sup> coleta	5,0	5	1,0	7	-	-	-	-	-	-	-	-
Percurso 3 <sup>o</sup> coleta	12,0	60	4,0	30	-	-	-	-	-	-	-	-
Fim 3 <sup>o</sup> coleta - Lixão	6,0	10	2,0	5	-	-	-	-	-	-	-	-
Descarga no Lixão	-	5	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-
Lixão - Início 4 <sup>o</sup> coleta	-	-	2,0	3	-	-	-	-	-	-	-	-
Percurso 4 <sup>o</sup> coleta	-	-	6,0	30	-	-	-	-	-	-	-	-
Fim 4 <sup>o</sup> coleta - Lixão	-	-	1,0	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Descarga no Lixão	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-
Lixão - Garagem	5,0	8	5,0	7	4,0	10	5,0	10	5,0	12	4	15
Total Percorrido	59,0	413	47,0	254	40,0	258	47,0	257	45,0	293	50,0	243
Parâmetros Analisados												
Número de Viagens	3		4		3		3		3		3	
Rota de Coleta no Setor	26,0	344	22,0	180	24,0	205	32,0	215	25,0	238	34,0	188
Percurso Vazio	17,0	24	18,0	32	10,0	25	10,0	22	11,0	29	11,0	32
Percurso Cheio	16,0	30	7,0	27	6,0	20	5,0	12	9,0	18	5,0	14
Descarga Total no Lixão	-	15	-	15	-	8	-	8	-	8	-	9

**Tabela 5: Parâmetros operacionais de coleta para o setor 1, obtidos a partir dos resultados da rotina de roteamento em arco (Arc Routing).**

Distância e Tempo Percorridos	Segunda-feira		Terça-feira		Quarta-feira		Quinta-feira		Sexta-feira		Sábado	
	(km)	(min)	(km)	(min)	(km)	(min)	(km)	(min)	(km)	(min)	(km)	(min)
Garagem-Início 1 <sup>o</sup> coleta	0,3	1	0,3	1	0,3	1	0,3	1	0,3	1	0,3	1
Percurso 1 <sup>o</sup> coleta	19,4	101	26,7	139	26,7	139	26,7	139	26,7	139	26,7	139
Fim 1 <sup>o</sup> coleta - Lixão	3,8	10	2,8	5	2,8	5	2,8	5	2,8	5	2,8	5
Descarga no Lixão	-	5	-	5	-	5	-	5	-	5	-	5
Lixão - Início 2 <sup>o</sup> coleta	3,6	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Percurso 2 <sup>o</sup> coleta	7,3	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fim 2 <sup>o</sup> coleta - Lixão	2,8	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Descarga no Lixão	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lixão - Garagem	3,9	7	3,9	7	3,9	7	3,9	7	3,9	7	3,9	7
Total Percorrido	41,1	180	33,7	157	33,7	157	33,7	157	33,7	157	33,7	157
Parâmetros Analisados												
Número de Viagens	2		1		1		1		1		1	
Rota de Coleta no Setor	26,7	139	26,7	139	26,7	139	26,7	139	26,7	139	26,7	139
Percurso Vazio	7,8	16	4,2	8	4,2	8	4,2	8	4,2	8	4,2	8
Percurso Cheio	6,6	15	2,8	5	2,8	5	2,8	5	2,8	5	2,8	5
Descarga no Lixão	-	10	-	5	-	5	-	5	-	5	-	5

**Tabela 6: Parâmetros operacionais de coleta para o setor 2, obtidos a partir dos resultados da rotina de roteamento em arco (Arc Routing).**

Distância e Tempo Percorridos	Segunda-feira		Terça-feira		Quarta-feira		Quinta-feira		Sexta-feira		Sábado	
	(km)	(min)	(km)	(min)	(km)	(min)	(km)	(min)	(km)	(min)	(km)	(min)
Garagem-Início 1 <sup>o</sup> coleta	0,7	2	0,7	2	0,7	2	0,7	2	0,7	2	0,7	2
Percurso 1 <sup>o</sup> coleta	12,9	65	26,3	134	26,3	134	26,2	133	29,6	152	31,4	161
Fim 1 <sup>o</sup> coleta - Lixão	5,5	12	5,0	12	5,0	12	5,2	12	5,2	12	5,0	12
Descarga no Lixão	-	5	-	5	-	5	-	5	-	5	-	5
Lixão - Início 2 <sup>o</sup> coleta	5,7	13	4,9	11	4,9	11	5,0	12	5,0	12	5,0	12
Percurso 2 <sup>o</sup> coleta	13,8	71	5,9	32	5,9	32	6,0	33	2,6	14	0,8	4
Fim 2 <sup>o</sup> coleta - Lixão	5,1	12	4,6	11	4,6	11	4,6	11	4,6	11	4,6	11
Descarga no Lixão	-	5	-	5	-	5	-	5	-	5	-	5
Lixão - Início 3 <sup>o</sup> coleta	5,0	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Percurso 3 <sup>o</sup> coleta	5,5	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fim 3 <sup>o</sup> coleta - Lixão	4,6	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Descarga no Lixão	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lixão - Garagem	3,9	7	3,9	7	3,9	7	3,9	7	3,9	7	3,9	7
Total Percorrido	62,7	249	51,3	219	51,3	219	51,6	220	51,6	220	51,4	219
Parâmetros Analisados												
Número de Viagens	3		2		2		2		2		2	
Rota de Coleta no Setor	32,2	166	32,2	166	32,2	166	32,2	166	32,2	166	32,2	165
Percurso Vazio	15,3	33	9,5	20	9,5	20	9,6	21	9,6	21	9,6	21
Percurso Cheio	15,2	35	9,6	23	9,6	23	9,8	23	9,8	23	9,6	23
Descarga Total -no Lixão	-	15	-	10	-	10	-	10	-	10	-	10

**Tabela 7: Parâmetros operacionais de coleta para o setor 3, obtidos a partir dos resultados da rotina de roteamento em arco (*Arc Routing*).**

Distância e Tempo Percorridos	Segunda-feira		Terça-feira		Quarta-feira		Quinta-feira		Sexta-feira		Sábado	
	(km)	(min)	(km)	(min)	(km)	(min)	(km)	(min)	(km)	(min)	(km)	(min)
Garagem – Início 1 <sup>o</sup> coleta	0,3	1	0,3	1	0,3	1	0,34	1	0,3	1	0,3	1
Percurso 1 <sup>o</sup> coleta	6,1	23	12,7	22	15,6	59	12,7	22	18,6	72	12,7	22
Fim 1 <sup>o</sup> coleta - Lixão	4,5	8	3,4	7	3,7	9	3,4	7	3,7	9	3,4	7
Descarga no Lixão	-	5	-	5	-	5	-	5	-	5	-	5
Lixão - Início 2 <sup>o</sup> coleta	4,6	10	1,5	5	3,4	7	1,5	5	-	-	1,5	5
Percurso 2 <sup>o</sup> coleta	9,5	35	12,4	48	3,0	14	12,4	48	-	-	12,4	48
Fim 2 <sup>o</sup> coleta - Lixão	3,7	9	3,7	9	3,7	9	3,7	9	-	-	3,7	9
Descarga no Lixão	-	5	-	5	-	5	-	5	-	-	-	5
Lixão - Início 3 <sup>o</sup> coleta	3,4	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Percurso 3 <sup>o</sup> coleta	3,0	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fim 3 <sup>o</sup> coleta - Lixão	3,7	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Descarga no Lixão	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lixão - Garagem	3,9	7	3,9	7	3,9	7	3,9	7	3,9	7	3,9	7
Total Percorrido	42,7	138	37,9	100	33,6	116	37,9	109	26,5	94	37,9	109
Parâmetros Analisados												
Número de Viagens	3		2		2		2		2		2	
Rota de Coleta no Setor	18,6	72	25,1	70	18,6	73	25,1	70	18,6	72	25,1	70
Percurso Vazio	12,2	25	5,7	13	7,6	15	5,7	13	4,2	8	5,7	13
Percurso Cheio	11,9	26	7,1	16	7,4	18	7,1	16	3,7	9	7,1	16
Descarga Total no Lixão	-	15	-	10	-	10	-	10	-	5	-	10

Os parâmetros operacionais são definidos da seguinte forma:

- *Total Percorrido* – é o somatório das distâncias percorridas pelo veículo durante a operação de coleta.
- *Rota de Coleta no Setor* – é o somatório das distâncias percorridas pelo veículo coletor realizando o serviço em cada setor.
- *Percurso Vazio* – é o somatório dos deslocamentos com o veículo coletor vazio: saída da garagem até o início da 1<sup>o</sup> coleta, retorno do lixão até o local de início da 2<sup>o</sup> coleta (e também posteriores, quando houver) e retorno do lixão até a garagem.
- *Percurso Cheio* – é o somatório dos deslocamentos com o veículo coletor cheio: fim da coleta até o lixão.
- *Descarga Total no Lixão* – é o somatório dos tempos de descarregamento do veículo coletor no lixão.

A partir destes valores tornou-se possível comparar a situação real com a situação simulada pelo software. A Tabela 8 demonstra uma comparação percentual entre essas situações.

**Tabela 8: Demonstra uma variação percentual entre a situação simulada e a situação real.**

Distância e Tempo Percorridos	Segunda-feira		Terça-feira		Quarta-feira		Quinta-feira		Sexta-feira		Sábado	
	(km)	(min)	(km)	(min)	(km)	(min)	(km)	(min)	(km)	(min)	(km)	(min)
<b>Setor 1</b>												
Total Percorrido	-2,1	-52,9	-6,4	-41,0	-11,3	-47,7	-6,4	-37,9	-6,4	-42,9	-6,4	-45,5
Rota de Coleta no Setor	11,3	-57,9	6,8	-42,1	-4,6	-49,5	11,3	-37,9	-1,1	-44,4	-1,1	-47,9
Percurso sem Coleta*	-20,0	-29,5	-36,4	-38,1	-30,0	-43,5	-41,7	-51,9	-22,2	-40,9	-22,2	-13,3
<b>Setor 2</b>												
Total Percorrido	-7,8	-30,8	-11,6	-27,0	-28,8	-32,6	-16,8	-22,8	-16,8	-27,4	-17,1	-23,7
Rota de Coleta no Setor	11,0	-43,7	3,9	-33,6	0,6	-30,8	-5,3	-29,4	-2,4	-34,4	-5,3	-29,8
Percurso sem Coleta*	-21,8	23,6	-29,3	0,0	-52,3	-38,6	-30,7	7,3	-33,1	-4,3	-31,4	0,0
<b>Setor 3</b>												
Total Percorrido	-27,6	-66,6	-19,4	-57,1	-16,0	-55,0	-19,3	-57,6	-41,1	-67,9	-24,2	-55,1
Rota de Coleta no Setor	-28,5	-79,1	14,1	-61,1	-22,5	-64,4	-21,6	-67,4	-25,6	-69,7	-26,2	-62,8
Percurso sem Coleta*	-27,0	-5,6	-48,8	-50,8	-6,3	-26,7	-14,4	-14,7	-60,5	-63,8	-20,0	-37,0

\*Percurso sem coleta corresponde à soma do percurso vazio mais o percurso cheio.

As informações constantes nas tabelas apresentadas anteriormente permitiram uma avaliação quantitativa dos parâmetros operacionais do serviço de coleta domiciliar. Essa avaliação tornou-se importante pelo fato de se considerar os dados de uma semana de operação do serviço, pois representa o ciclo em que o processo de coleta se repete, levando-se em consideração naturais oscilações entre os parâmetros neste intervalo.

Em termos gerais, os percursos totais (distância e tempo) obtidos com os parâmetros da situação real foram superiores aos obtidos pela rotina nos três setores de coleta estudados. Houve redução de até 41,1% na distância total percorrida. Este fato é devido ao resultado da simulação ter demonstrado um roteamento em que o veículo coletor realizou um número menor de viagens que a situação real. A respeito do tempo total percorrido, houve reduções bem significativas, sendo que uma atingiu 68%. Possivelmente, duas situações podem explicar este fato: 1) as velocidades inseridas no banco de dados do software serem muito pequenas em relação às velocidades realmente praticadas pelo serviço atual.; 2) na ocasião da coleta de dados, o motorista não tenha informado no seu formulário, possíveis paradas para descanso dos garis.

Sobre a rota de coleta no setor, o resultado da simulação é igual para todos os dias em todos os setores. A exceção é feita para o setor 3, onde a rota de coleta dos dias segunda-feira, quarta-feira e sexta-feira é diferente dos demais dias da semana (na terça-feira, quinta-feira e sábado, é acrescido o Recanto das Águas para a realização da coleta). Em algumas situações, esse parâmetro apresentou valores percentuais positivos com relação ao serviço atual. Isto demonstra que o serviço atual não realiza o mesmo itinerário para todos os dias da semana, como foi informado inicialmente pelo responsável do serviço.

O parâmetro percurso sem coleta demonstrou redução em todos os dias e em todos os setores. A análise deste parâmetro ilustra que o veículo não se movimenta de uma forma eficiente quando está fora da rota de coleta. Tem se deslocado por grandes distâncias e, conseqüentemente, aumentando o tempo de execução do serviço.



## CONCLUSÃO

A aplicação do SIG/TransCAD demonstrou uma contribuição para o planejamento de rotas de coleta de resíduos sólidos domiciliares. Através dos resultados obtidos pôde-se concluir que a aplicação do TransCAD reduziu o percurso total do veículo coletor em termos de distância e tempo de percurso.

Mesmo se atingindo bons resultados com a aplicação do software, é importante informar as simplificações impostas para se atingir esse objetivo. Uma das simplificações é que o software não considera o local de descarga na rotina de roteamento. O veículo parte da garagem e atravessa todas as vias que necessitam ser atendidas. Em seguida retorna a garagem. Para a determinação de todos os parâmetros operacionais estudados, utilizou-se uma ferramenta do software para calcular caminhos mínimos, a qual necessita apenas de uma origem e um destino.

Uma outra simplificação imposta foi com respeito à direção das vias. Na cidade, o serviço de coleta de lixo se caracteriza por atravessar a via apenas uma vez. Sendo assim, a coleta dos resíduos ocorre em ambos os lados da via. Para que fosse possível a aplicação da rotina houve a necessidade de intervenção na rede viária, ou seja, as vias de coleta passaram a ter sentido único. Desta forma, a rotina entendeu que o veículo só pode passar uma única vez pelas vias de coleta. Essa intervenção por parte do usuário implicou em um gasto de tempo considerável.

De uma forma bem abrangente, a partir deste estudo de caso foi possível identificar alguns problemas e obstáculos existentes para a implementação de SIG na roteirização de veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares. Essa situação pode fornecer informações importantes a todos aqueles interessados em fazer aplicações similares.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALDOSARY, A. S. e ZAHEER, S. A. Na Application Mechanism for a GIS-Based Maintenance System: The Case of Kfupm. *Computational, Environmental and Urban Systems*, n. 6, v. 20, p. 399-412. 1996.
2. BORGES, M. E. Dificuldades e Soluções para o Gerenciamento dos Sistemas de Limpeza Urbana. Disponível em: <<http://www.ecolatina.com.br/index.asp>>. Acesso em: 29 abr. 2002.
3. BRIONES, L. Como Reduzir Danos ao Meio Ambiente. *Jornal Gazeta Mercantil* em 28/03/2000. Disponível em: <[http://www.ecolatina.com.br/br/artigos/impactos\\_ambientais/impac\\_amb\\_02.asp](http://www.ecolatina.com.br/br/artigos/impactos_ambientais/impac_amb_02.asp)>. Acesso em: 15 jan. 2002.
4. CAIRNS, S. Promises and Problems: Using GIS to Analyse Shopping Travel. *Journal of Transport Geography*, v.6, n. 4, p. 273-284. 1998.
5. CALIPER Routing and Logistics with TransCAD, versão 3.0, *Transportation GIS Software: Caliper Corporation*, 1996.
6. DANTAS, A. S.; TACO, P. W. G. e YAMASHITA, Y. Sistema de Informação Geográfica em Transportes – O Estudo do Estado da Arte. In: X ANPET - Congresso Brasileiro de Pesquisa e Ensino em Transportes, 1996, Brasília, v. 1, p. 211-222.
7. DELUQUI, K. K. Roteirização para Veículos de Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares Utilizando um Sistema de Informação Geográfica – SIG. 1998, 218p. Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo, São Carlos.
8. EISELT, H. A.; GENDREAU, M.; LAPORTE, G. Arc Routing Problems, Part I: The Chinese Postman Problem. *Operation Research*, V. 43, n. 2, p. 231-242, 1995.
9. HANAFI, S.; FREVILLE, A. E VACA, P. Municipal Solid Waste Collection: An Effective Data Structure for Solving the Sectorization Problem with Local Search Methods. *INFOR-Journal*, v. 37, n. 3, p. 236-254, 1999.
10. HICKMAN, H. L. Collection of Residential Solid Waste. In: ROBINSON, W. *The Solid Waste Handbook – A Practical Guide*. Washington D. C., Wiley Interscience, 1981, cap. 8, p. 177-190.
11. IPT e CEMPRE. *Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado*. 1. ed., São Paulo, ed. IPT, 1995, 278 p. Coord. Jardim, N. S.
12. SANTOS, C. M. A Viabilização dos Softwares Comerciais na Roteirização de Veículos de Serviços de Entregas Visando a Geração de Respostas Rápidas e Eficientes. 1999, 198p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos.



13. TANURE, C. Estudo e Aplicação de Algoritmo Genético para um Problema de Distribuição dos Correios. 1999. Dissertação de Mestrado, PUC, Rio de Janeiro.