

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

R. L. Oliveira e R. S. Lima

RESUMO

O objetivo desse trabalho é utilizar um Sistema de Informações Geográficas (SIG) na roteirização do processo logístico de coleta seletiva de materiais recicláveis. A pesquisa utiliza dados reais de uma associação de catadores de materiais recicláveis, da cidade de Itajubá, Minas Gerais. O método de pesquisa adotado foi a modelagem e simulação, com o TransCAD, um SIG com funções específicas para a área de transportes. Foram simulados cenários alternativos nos quais procurou-se obter rotas mais eficientes (mais curtas e rápidas) do que os atuais trajetos realizados, que foram coletados em campo com GPS. Os resultados mostraram que, com algumas alterações simples nos pontos de passagem obrigatória do caminhão, podem ser obtidas reduções significativas nos parâmetros de roteirização. Com o auxílio do SIG, pode-se explicitar que os principais problemas logísticos observados são consequência direta da forma pouco eficiente com que o processo de coleta seletiva está estruturado.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e econômico, aliado as mudanças no estilo de vida das pessoas, contribuiu para o aumento da geração *per capita* dos Resíduos sólidos Urbanos (RSU), que implica diretamente em impactos negativos ao meio ambiente e a saúde pública. O manejo desses resíduos é uma tarefa complexa em virtude da quantidade e heterogeneidade de seus componentes, do crescente desenvolvimento das áreas urbanas, das limitações dos recursos humanos e financeiros disponíveis e da falta de políticas públicas que regulem as atividades do setor (Massukado e Zanta, 2006). O aumento das distâncias espaciais e da escassez de lugares para a destinação final desses resíduos são outros fatores também observados que podem, dentre outras consequências, gerar custos adicionais especificamente no transporte. Adicionalmente, a reparação de danos, na maioria dos casos, é mais complicada tecnicamente e envolve mais recursos do que a prevenção via investimentos técnico-financeiros na gestão adequada desses resíduos.

É nesse cenário que a Logística Reversa (LR) se apresenta como uma alternativa para obtenção de maior eficiência na gestão dos RSU, pois a reciclagem, aliada à coleta seletiva, pode proporcionar ganhos ambientais, econômicos e sociais. Especificamente no Brasil, observa-se a participação de pessoas (catadores) no processo de catação desses materiais recicláveis, atividade que muitas vezes torna-se a única fonte de renda de famílias inteiras. Na ordem por ações ambientalmente e socialmente corretas, houve por parte tanto do Poder Público quanto de organizações não governamentais, um aumento em incentivos ao agrupamento desses catadores em associações/cooperativas. Ao mesmo tempo, o conceito de LR (escolha da frota, localização, rota dos veículos etc.) é uma

atividade que está inserida no dia-a-dia dessas associações, ao exercerem as funções de recolher os materiais recicláveis, fazer a triagem, investir em reciclagem, reuso/reutilização e atender ao deslocamento entre pontos de distribuição e o destino final.

Bowersox *et al.* (2006) afirmam que um aspecto importante para se obter eficiência no transporte é a definição das melhores rotas de coletas e/ou entregas, determinando o trajeto que um veículo percorrerá para completar as exigências dos serviços de transportes. Desta forma observa-se a oportunidade para a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), com os quais pode-se obter e processar dados georeferenciados e alfanuméricos para, a partir de análises espaciais, apoiar a tomada de decisão espacial. A relação entre o SIG e a logística é bem estreita, pois a mesma está de alguma maneira relacionada com questões envolvendo o transporte ou a transmissão de materiais, serviços e informações ao longo do espaço geográfico (Lima *et al.*, 2009).

Assim, o objetivo do trabalho é utilizar um SIG no processo de planejamento logístico da coleta seletiva de materiais recicláveis oriundos dos Resíduos Sólidos Urbanos, com especial atenção ao processo de roteirização do veículo utilizado nesse processo. A pesquisa utiliza dados reais de uma associação de catadores de materiais recicláveis, localizada na cidade de Itajubá, Minas Gerais. O método de pesquisa adotado é a modelagem e simulação e o software utilizado para simular cenários é o TransCAD, um SIG com funções específicas para a área de transportes (rotinas de localização de atividades e roteirização de veículos). Com o auxílio de um aparelho GPS (*Global Positioning System*), foram levantados em campo (dentro do caminhão) os dados e características da coleta realizada pela associação, a partir dos quais foram simulados no SIG cenários alternativos que buscavam otimizar alguns indicadores globais de desempenho (minimização das distâncias e dos tempos gastos nos percursos). O trabalho está estruturado da seguinte forma: após esta breve introdução apresenta-se nas seções 2 e 3 o referencial teórico do trabalho (LR, gestão dos RSU, SIG). Na seção 4 aborda-se o desenvolvimento da simulação. A seção 5 traz as conclusões do trabalho, seguida da lista com as referências bibliográficas.

2 LOGÍSTICA REVERSA

A Logística Reversa envolve, em geral, atividades necessárias para transportar, recuperar, e destinar produtos que são movimentados a partir do consumidor, incluindo em todo o processo os fluxos de informações associadas (Krumwiede e Sheu, 2002). Pode-se, desta forma, identificar atividades da gestão dos RSU dentro da LR por meio dos processos de coleta (transportar), reciclagem (recuperar) e comercialização (destinar) desses resíduos. Legislação, fatores econômicos diretos e indiretos, questões ambientais, responsabilidade e imagem corporativa, consumidores mais conscientes são os fatores relevantes que impulsionam o interesse e foco na LR. De Brito e Dekker (2004) afirmam que é difícil datar o surgimento deste termo com precisão, pois, até os dias atuais as diversas definições de LR revelam que o tema ainda está em construção, face às novas possibilidades de negócios e de pesquisas, revelando-se em processo de difusão e apresentando um vasto campo de aplicação. A atualidade do tema e seu destaque alcançado em periódicos europeus pode ser comprovada em Rubio *et al.* (2008) e Pokharel e Mutha (2009).

Ressalta-se, entretanto, que ainda existe uma considerável polêmica sobre o tema no que diz respeito à terminologia utilizada quando se trata dos fluxos reversos. Algumas vezes fala-se de LR; em outras ocasiões de logística verde; logística ambiental ou logística

ecológica. Pires (2007), após realizar a confrontação desses diversos conceitos, concluiu ser mais coerente com a própria nomenclatura, atribuir à logística verde ou à ecológica o estudo da redução do impacto ambiental e da preservação do meio ambiente, tratando, indistintamente, de questões que estejam relacionadas ao fluxo direto ou reverso de produtos e matérias. Já a LR é melhor delimitada e conceituada quando se refere a qualquer tentativa de uma nova inserção de produtos retornados ao ciclo produtivo para agregar valor aos mesmos ou descartá-los de forma ambientalmente correta.

Para reforçar o entendimento dos canais de distribuição reversos, Leite (2003), define duas categorias para o fluxo reverso: *Pós-consumo*, composto pela parcela de produtos e de materiais originados no descarte dos produtos depois de finalizada sua utilidade original e que retornam ao ciclo produtivo. Distinguem-se dois subsistemas: reciclagem e reuso; *Pós-venda*: composto pelas diferentes formas de retorno dos produtos com pouco ou nenhum uso. Outra classificação importante para o canal de distribuição reverso é sua divisão em *ciclo aberto*, quando o bem gerado pelo material reciclado é diferente do produto original, e em ciclo fechado quando a reciclagem produz um produto similar ao de origem (Fleischman *et al.*, 2000). O foco desse trabalho está nos produtos de pós-consumo, visto que são obtidos a partir dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), e não será aqui feita distinção entre os ciclos reversos.

2.1 Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos e a coleta seletiva

A Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos (GRSU) inclui inúmeras atividades, tais como: redução, segregação (separação), modificação, reciclagem, tratamento e destinação final de materiais, variando em todo o processo o nível de transformação empregado (Hamer, 2003). O foco desta pesquisa, como descrito no objetivo, será especificamente no sistema de coleta e transporte da fração reciclável presente nos RSU destinados à reciclagem.

No Brasil, identificam-se vários problemas relacionados com o modelo atual GRSU, como por exemplo: a descontinuidade política, evidenciada pela ruptura dos programas e planos, quando se esgota o período de gestão e outro grupo assume o poder. E, também questões referentes ao aspecto legal: mesmo considerando ser eminentemente municipal a competência para a gestão dos resíduos sólidos domiciliares, este componente do saneamento ambiental resente-se da ausência de uma Política Nacional de Resíduos Sólidos (Massukado e Zanta, 2006). Na União Européia, por exemplo, atos legislativos, como leis de responsabilidade do produtor exige que os fabricantes coletem e reutilizem/reciclem seus produtos (Guide Jr. e Van Wassenhove, 2001). Outro ponto importante, no Brasil, diz respeito à forma de ocupação do solo que dificulta o acesso da população aos serviços de coleta e aumenta o custo de transporte, haja vista que a operação de coleta absorve uma considerável fatia dos recursos municipais destinados à limpeza urbana (Brasileiro e Lacerda, 2008).

O conceito de coleta seletiva reside na separação de materiais recicláveis nas suas várias fontes geradoras, tendo em vista a coleta e o encaminhamento para a reciclagem. Estes materiais podem ser provenientes de empresas, residências, escolas, estabelecimentos comerciais ou indústrias (Ribeiro e Besen, 2007). De acordo com Grimberg (2007), um sistema de recuperação de resíduos recicláveis que pretenda avançar na direção da sustentabilidade sócio-ambiental pressupõe a combinação de pelo menos dois fatores: a responsabilidade dos geradores pela produção de seus resíduos e a integração dos catadores em associações. Assim, torna-se importante a participação do poder público na

coordenação desse processo, principalmente através das prefeituras, para que o interesse público seja garantido, no sentido amplo do termo. Dados da ABRELPE (2008) indicam que 56% dos 5.565 municípios brasileiros têm iniciativas de coleta seletiva. Porém, muitas vezes essas iniciativas resumem-se à implantação de pontos de entrega voluntária à população ou à simples formalização de convênios com cooperativas de catadores para a execução dos serviços. O modelo porta-a-porta e os Pontos de Entrega Voluntária (PEV's) são as estratégias brasileiras mais comuns entre os programas de coleta seletiva (Cempre, 2008). No entanto, independente do tipo de coleta a ser adotada, a educação ambiental é peça fundamental para a aceitação e confiabilidade nos serviços prestados, incentivando a participação da comunidade. A oferta de materiais para reciclagem é muitas vezes incerta, já que comumente a obtenção desses materiais depende de pequenos empreendimentos (associações/cooperativas), ou até mesmo de catadores que trabalham individualmente.

Os custos de transporte e reciclagem podem ser maiores na cadeia reversa da reciclagem do que os do fluxo normal, devido a fatores como: não padronização da demanda; dificuldade em obter economias de escala; área geográfica essencialmente dispersa (Rogers e Tibben-Lembke, 2001). Outras pesquisas corroboram a importância da gestão eficiente dos custos de transportes na cadeia reversa da reciclagem (Dobos e Richter, 2006 ; Listes e Dekker, 2005), mostrando que um sistema de gestão de coleta e transporte que reduza custos e aumente a produtividade é uma questão essencial neste tipo de coleta. Li *et al.* (2008) afirmam que um planejamento efetivo de programas de reciclagem de RSU é atualmente um importante desafio em muitos sistemas de gestão, tendo como questões centrais a distribuição eficientemente dos veículos de coleta e a programação da equipe de trabalho.

3 ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS EM SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Conforme Martinhon *et al.* (2004), Problemas de Roteirização de Veículos (PRV) é o nome genérico dado a uma classe vasta de problemas envolvendo a coleta e a distribuição física de mercadorias, serviços, informações e pessoas. Segundo Bodin *et al.* (1983), os PRV podem ser divididos primeiramente em três grupos: (1) roteirização pura, (2) programação e (3) programação e roteirização. Esta pesquisa classifica-se como o problema combinado de roteirização e programação de veículos, já que a coleta seletiva envolve a precedência entre as atividades e também restrições de janelas de tempo para as atividades.

A roteirização de veículos consiste na definição das rotas das coletas e/ou entregas, em que determina-se o trajeto que um veículo percorrerá para completar as exigências dos serviços de transportes (Bowersox *et al.*, 2006). No contexto da roteirização dos veículos de coleta dos RSU, em geral, três objetivos podem ser considerados na roteirização e programação de veículos para a coleta de resíduos: 1) minimizar a distância total de coleta; 2) minimizar o custo total de coleta; 3) minimizar o tempo total de coleta (Chang, 1997). Nesta pesquisa adotou-se os objetivos de redução da distância e tempo total gastos, pois o custo com transporte não é de responsabilidade do objeto de estudo e o mesmo não contém os dados relativos a tal questão.

De acordo com Deluqui (2003) o estabelecimento dos roteiros e dos setores de coleta dos RSU tem sido feito manualmente em grande parte dos municípios brasileiros. As características dos sistemas de coleta do Brasil, obtidas por meio de questionários aplicados em diversos municípios brasileiros, mostra que em 62% dos municípios os

roteiros são definidos e traçados manualmente, com base na experiência da equipe de trabalho. Na cidade onde é realizada a presente pesquisa o quadro não é diferente. Constatase, dessa forma, uma oportunidade para a utilização dos SIG, experiência já realizada em diversas cidades, que vem empregando tecnologias de geoprocessamento, tanto como ferramenta de apoio à tomada de decisão espacial como ferramenta para suporte às atividades operacionais (Monteiro, 2007).

Dentre as diversas opções de SIG existentes, de particular interesse para esse trabalho são os chamados SIG-T (Sistema de Informações Geográficas para Transportes). Um dos softwares que se destacam nessa categoria é o TransCAD, que incorpora, além das funções básicas de um SIG, rotinas específicas para soluções de problemas de logística, de pesquisa operacional e transportes em geral. O *software* possui um módulo específico que resolve diversos tipos de problemas de roteirização de veículos, atuando na fase preliminar de preparação dos dados, na resolução do problema em si de roteirização e programação de veículos e na elaboração das rotas, tanto na forma de relatórios quanto na forma gráfica. Esse foi o software utilizado nesse trabalho, em sua versão acadêmica (TransCAD 4.8).

4 APLICAÇÃO

4.1 Método de pesquisa e coleta de dados

O método de pesquisa utilizado é a modelagem e simulação computacional, que segundo Law e Kelton (2000) envolvem um experimento em um modelo computacional baseado em um sistema (neste caso a coleta e transporte de materiais recicláveis). O modelo é usado como veículo para a experimentação, e geralmente uma forma de tentativa e erro é usada para demonstrar os efeitos de várias políticas. A forma de abordar o problema é quantitativa com objetivo descritivo. Quanto à obtenção dos dados e das características operacionais da coleta seletiva realizada pela associação, foi utilizado um aparelho GPS para auxiliar no mapeamento da situação real, além de observações diretas e entrevistas com os catadores. O mapeamento de cada trajeto foi realizado com o receptor GPS no caminhão da coleta seletiva. Assim, foram marcados todos os pontos de parada do caminhão, nos quais os catadores descem para realizar a coleta nos bairros (primeira viagem) e em que os catadores ficam esperando posteriormente com os materiais coletados, em *bags*, para o carregamento no caminhão (segunda viagem). Outros dados obtidos via GPS foram distâncias, velocidades e tempos no trajeto percorrido pelo caminhão. Esse mapeamento com o GPS ocorreu mais de uma vez em cada rota, de modo a observar possíveis variações nos trajetos. Após o mapeamento das rotas, os arquivos gerados pelo GPS foram tratados no software *GPS Trackmaker PRO* e daí convertidos em formato shapefile (SHP), compatível com o *TransCAD*. A validação e a verificação do modelo foram realizadas com os próprios catadores, de onde pode-se constatar que os dados de saída do modelo correspondem aos dados do sistema real (Law e Kelton, 2000).

4.2 Caracterização do objeto de estudo

A Associação de Catadores Itajubenses de Materiais Recicláveis – ACIMAR localiza-se no sul de Minas Gerais (MG), na cidade de Itajubá. Foi fundada em 2007, e possui atualmente 20 catadores associados. Desde sua fundação recebe assessoria e auxílio da Incubadora Tecnológica de Cooperativas Populares - INTECOOP da Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI/MG e também da Prefeitura Municipal. A Prefeitura fornece equipamentos para o desenvolvimento das atividades de coleta seletiva, tais como, o galpão (sede da

associação), equipamentos (prensa, empilhadeira, telefone etc.), um funcionário técnico-administrativo, um caminhão (carroceria, adaptado com gaiola, capacidade de 12.000 kg) com motorista e um ajudante, sendo esses últimos contratados da empresa terceirizada responsável pela Limpeza Pública (LP) da cidade (que fornece também o caminhão).

Os associados são divididos em dois grupos de trabalho: os que ficam dentro do galpão para realizar as atividades pertinentes (triagem, pesagem, venda etc.) e os que fazem a coleta nos bairros. Algumas empresas colaboram com a coleta seletiva e com as atividades da ACIMAR, separando o lixo reciclável para posterior coleta pelos catadores associados. De acordo com os dados do ano de 2009, em média a ACIMAR coletou mensalmente 27.237 kg de materiais recicláveis. A cidade gera em média 1.516.000 kg por mês de RSU, incluindo os resíduos domiciliares e industriais (sem a porção reciclável já citada). A Figura 1 apresenta o galpão onde os catadores da ACIMAR realizam suas atividades e o único caminhão utilizado para a coleta e transporte. Observa-se que dentro do galpão não há espaços específicos para cada tipo de material e que os catadores são transportados na carroceria do caminhão juntamente com os materiais coletados. Esse fato, além de reduzir a capacidade de carga do caminhão, expõe os catadores a riscos no transporte e implica em infrações às leis de trânsito.



Fig 1 Galpão e o caminhão ACIMAR

Alguns dias da semana possuem rotas diferentes, se repetindo na segunda, quarta e sexta-feira (Roteiro A), terça e quinta-feira (Roteiro B). Diariamente, à noite, a ACIMAR coleta no centro comercial da cidade (Roteiro C). A coleta diária nos bairros acontece da seguinte forma: o caminhão realiza duas viagens. Na primeira viagem ele parte do galpão, transportando os *bag's* (sacos utilizados na coleta) e os catadores, e segue até os pontos pré-determinados. Nestes pontos os catadores descem e seguem a pé portando seu *bag* para a realização da coleta dos materiais recicláveis. Após deixar todos os catadores nos pontos, o caminhão vai ao aterro da cidade, onde fará a pesagem do caminhão descarregado (requisito da empresa terceirizada que presta o serviço de LP, pois a mesma recebe por quilo de material coletados). Em seguida, retorna ao galpão, onde ficará em média 1:30h aguardando o horário para a segunda viagem, em que buscará os catadores e os materiais coletados. Na segunda viagem o caminhão sai do galpão e passa pelos pontos já estabelecidos, efetuando a coleta e o transporte dos catadores e dos materiais. Após passar por todos os pontos, segue novamente para o aterro, onde é pesado carregado para cálculo da quantidade, em kg, da coleta realizada. Posteriormente, o caminhão retorna ao galpão, onde acontece a descarga dos recicláveis e as inicia-se o processo de triagem. A Figura 2 ilustra como são realizados os roteiros descritos acima. A única exceção na forma de se realizar a coleta acontece no período da noite (Roteiro C), no centro comercial da cidade, em que o caminhão não retorna para o galpão, realizando uma única viagem.

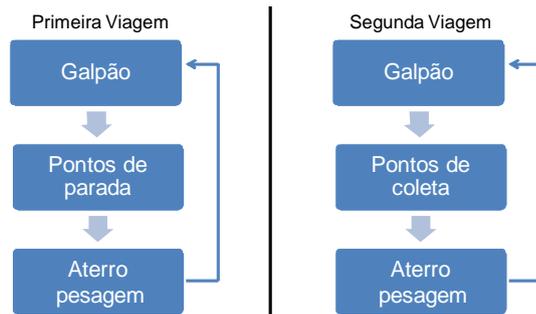


Fig. 2 Roteiro das coletas ACIMAR

4.3 Construção dos cenários simulados e roteirização no TransCAD

Para cada roteiro realizado pelo caminhão (A, B, C), foram simulados três cenários diferentes, nas quais foram seguidos os critérios detalhados a seguir:

- i. *Cenário 1*: buscou-se reproduzir as condições atuais do trajeto do caminhão, onde na primeira viagem o caminhão leva os catadores, juntamente com seu bag's, para os pontos pré-determinados e, na segunda viagem, recolhe os catadores e os bag's carregados com os materiais coletados, indo efetuar pesagem descarregado, no aterro (pois é lá que se localiza a balança) no intervalo das viagens e carregado no final do trajeto;
- ii. *Cenário 2*: foi excluída a necessidade de pesagem do caminhão descarregado no aterro, visto que a coleta é sempre realizada pelo mesmo caminhão, o que significa que seu peso é constante, com variação insignificante em função da quantidade de combustível presente no tanque. Todas as condições foram mantidas. Desta forma mantêm-se a divisão entre primeira e segunda viagem, com a ida do caminhão ao aterro para pesagem, carregado, somente no final da segunda;
- iii. *Cenário 3*: além de excluir a pesagem do caminhão descarregado, exclui-se também a necessidade de pesar o caminhão cheio no final do trajeto. Essa hipótese, em termos práticos, prevê a disponibilização de uma balança no galpão da ACIMAR ou em outro ponto mais central na cidade. No entanto, caso isso não fosse possível, a alternativa seria utilizar os dados da própria ACIMAR, que possui dados sobre quantidade coletadas. A Figura 3 resume os três cenários simulados nesta pesquisa.

Há quatro passos principais que foram seguidos para modelar o problema de roteirização de veículos usando o TransCAD: (1) Preparar os dados de entrada; (2) Criar a matriz de roteirização/menores caminhos (matriz origem/destino); (3) Solucionar o problema de roteirização de veículos (*Vehicle Routing*) e; (4) apresentar os resultados (*Display Vehicle Routes*) (Brasileiro e Lacerda, 2008).

A base de ruas digital georeferenciada de Itajubá/MG foi obtida em projetos anteriores e para esta pesquisa foi configurada com os dados necessários obtidos com o GPS. Cria-se então uma rede de trabalho (*Network*) definindo os parâmetros para a roteirização (velocidades, distâncias, tempos, mão de direção). Os pontos de paradas e o depósito (galpão) são incluídos nessa rede com seus respectivos dados, em um arquivo específico. Deve-se também preparar um arquivo dos veículos utilizados (*vehicle table*), com os dados dos caminhões, nesse caso, único: número de veículos, capacidade, custos. Posteriormente,

calcula-se uma matriz (*Routing Matrix*) com tempo e distância entre depósitos (*depots*) e paradas (*stops*), entre cada par de paradas. O TransCAD, após a roteirização, gera saídas diferentes: um relatório com o itinerário a ser seguido, contendo a ordem de atendimento dos pontos, o tempo de chegada e de saída, a distância e a quantidade a ser coletada em cada ponto, e um mapa mostrando os roteiros no mapa da cidade.

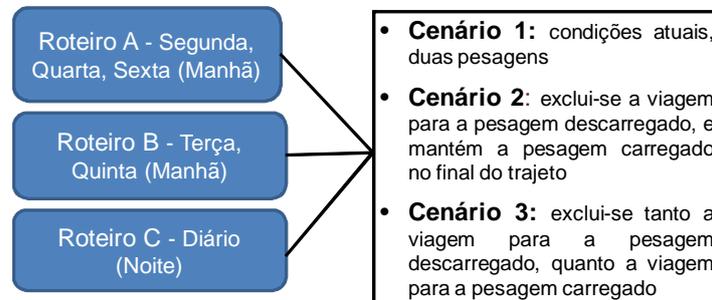


Fig. 3 Cenários simulados no SIG

Os volumes coletados em cada ponto foram obtidos através das médias de dados históricos da associação. Não há registros específicos para cada bairro, sendo admitido, em geral, um valor igual por toda a cidade. De acordo com as entrevistas com os catadores, isso não é um problema, pois não há diferença significativa entre as quantidades coletadas de um bairro para outro, com exceção apenas do centro da cidade, em que o volume é um pouco mais elevado (sendo assim considerado). A velocidade média utilizada foi de 26 Km/h, calculada a partir dos dados reais coletados com o GPS. No cálculo dessa velocidade não foram considerados os tempos nos quais o caminhão estava parado. Para se obter as distâncias totais percorridas em todos os cenários dos roteiros A e B foram somados os resultados das duas viagens realizadas e para os tempos totais excluiu-se também o intervalo entre as viagens onde o caminhão fica parado no galpão (para o cenário C isso não foi necessário já que o caminhão faz apenas uma viagem). A Tabela 1 mostra os resultados de cada um dos cenários simulados, comparando-se com os valores reais, obtidos com o GPS. As Figuras 4, 5 e 6 mostram os mapas com o percurso real coletado com o GPS (em verde) e alguns dos roteiros obtidos pelo TransCAD, (em azul) nos três cenários, a título de exemplo, para o roteiro B.

4.4 Análises dos resultados

Roteiro A (segunda, quarta e sexta-feira de manhã) – Cenário 1: Pode-se observar que as reduções na distância (7%) e no tempo de (6%) não foram significativas, como consequência direta de se reproduzir no SIG as mesmas condições gerais do que é feito atualmente pelo caminhão, indo duas vezes ao aterro efetuar a pesagem. No Cenário 2, as reduções na distância (27%) e no tempo (18%) evidenciam como podem ser obtidos ganhos significativos nesses parâmetros com uma decisão simples e óbvia: não é necessário pesar, em cada roteiro, o caminhão vazio, pois seu peso será sempre o mesmo em termos práticos. A situação é agravada pelo fato do aterro/balança localizar-se, na cidade, no lado oposto (oeste) ao do galpão da cooperativa (leste), pois essa distribuição dos pontos em extremos obriga o caminhão a percorrer grandes distâncias. O Cenário 3 mostra que reduções ainda maiores poderiam ser obtidas na distância (49%) e no tempo (36%), num cenário de operação que incluiria a mudança da balança de local, do aterro para o galpão por exemplo. Apesar de essa situação necessitar de uma alteração mais significativa do sistema atual, fica evidente o quanto é prejudicial para a eficiência logística as viagens atualmente realizadas para as pesagens.

Tabela 1 Resultados da roteirização

Roteiros	Cenários	Distância (km)	Tempo (horas)	Redução Km (%)	Redução Tempo (%)
A	Real	43,0	3:00	–	–
	1	40,0	2:50	6,9	5,5
	2	31,6	2:27	26,5	18,3
	3	21,9	1:56	49,0	35,5
B	Real	55,0	3:50	–	–
	1	44,6	3:41	18,9	3,9
	2	34,4	3:07	37,4	18,6
	3	24,3	2:34	55,8	33,0
C	Real	40,0	4:21	–	–
	1	29,6	4:18	26,0	1,1
	2	19,9	3:57	50,2	9,1
	3	8,9	3:21	77,7	22,9

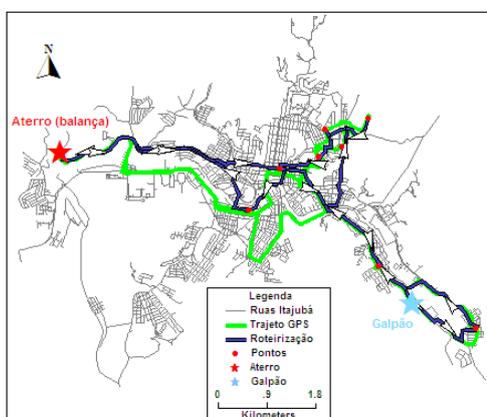


Fig. 4 Roteiro B - Cenário 1 - Segunda viagem roteirizado

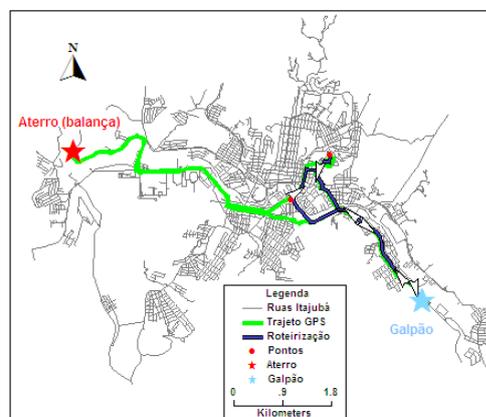


Fig. 5 Roteiro B - Cenário 2 - Primeira viagem roteirizado sem aterro

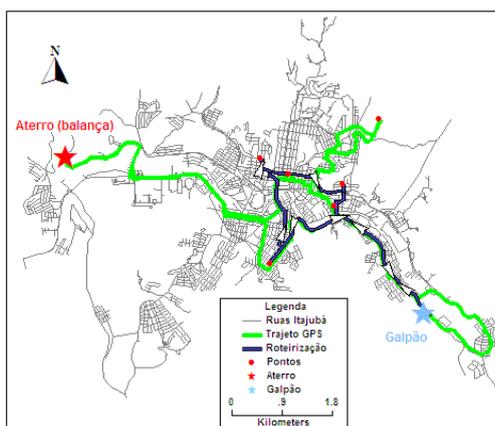


Fig. 6 Roteiro B Cenário 3 – Segunda viagem de volta roteirizada sem aterro

Roteiro B (terça e quinta-feira de manhã) – Os três cenários tiveram basicamente o mesmo comportamento observado para o Roteiro A, com reduções de distância e tempo na ordem de 19% e 4 % (Cenário 1), 37% e 19% (Cenário 2) e 56 e 36% (Cenário 3), respectivamente. Destacam-se, nesse caso, as reduções maiores obtidas no parâmetro distância quando comparadas as do Roteiro A, como consequência direta desse roteiro

atender os bairros mais afastados do aterro. Isso ilustra uma vez mais que o principal problema é a ida ao aterro da cidade. Esse é o roteiro ilustrado nas Figuras 4, 5 e 6.

Roteiro C (trajeto diário realizado à noite no centro comercial da cidade) – Cenário 1: Reduções de 26% nas distâncias e 1% nos tempos. A maior redução na distância é explicada porque, ao contrário dos Roteiros A e B, o atual trajeto realizado pelo caminhão não é bom pois, propositalmente, o caminhão passa pelos mesmos pontos várias vezes. A razão para isso, segundo os entrevistados da ACIMAR, é que os comerciantes precisam perceber que o caminhão está circulando no centro da cidade para lembrarem-se de retirar os materiais das lojas para coleta. Já a baixa redução dos tempos (1%) indica que em uma situação de distância otimizada, o tempo economizado pelo caminhão no roteiro seria utilizado na operação de coleta pelos catadores, o que pode ser entendido como uma produtividade melhor (os catadores passariam menos tempo circulando no caminhão e mais tempo realizando a coleta). Nos outros cenários, as reduções de distância e tempo seriam, respectivamente, de 50% e 9% (Cenário 2) e 78% e 23% (Cenário 3). As reduções no parâmetro tempo, para esse roteiro, foram menos significativas porque nesse caso já na situação real o caminhão não retorna ao galpão como nos Roteiros A e B, permanecendo o tempo todo com os catadores. Mesmo assim as reduções de distância foram significativas.

5 CONCLUSÕES

Em termos gerais, pode-se constatar que os principais problemas logísticos existentes atualmente na ACIMAR são consequência direta da má estruturação do sistema de coleta e transporte como um todo. Pode-se constatar, através dos cenários simulados, que as maiores reduções nos parâmetros de roteirização (distância e tempo) foram obtidas quando se excluiu a necessidade de ida ao aterro para a pesagem do caminhão, algumas vezes sem carga nenhuma. Essa situação evidencia que, antes de uma busca por otimização de parâmetros de roteirização, mais importante seria uma atuação mais enfática da associação de catadores e da prefeitura municipal junto à empresa terceirizada que presta os serviços de limpeza pública para que situações como as que foram aqui descritas fossem evitadas.

Quanto à roteirização propriamente dita, os cenários simulados mostraram que as reduções obtidas no parâmetro tempo são menores que as do parâmetro distância. Pode-se concluir que, no geral, o tempo gasto pelos catadores para realizar a coleta dos materiais recicláveis mantém-se relativamente constante, reduzindo-se apenas a parcela de tempo associada ao deslocamento do caminhão. Destaca-se também que em muitas situações os resíduos sólidos urbanos não são separados em sua fonte geradora, o que demanda mais tempo e trabalho para os catadores realizarem a coleta desses materiais. Adicionalmente, há que se considerar o impacto que campanhas educativas para maior adesão da população à coleta seletiva poderiam ter na eficiência do processo, como: aumento na quantidade a ser coletada; melhor separação prévia de matérias; disponibilização desses materiais em horários pré-determinados para pontos comerciais, evitando que o caminhão precise passar várias vezes pelos mesmos pontos de coleta.

Finalmente, pôde-se comprovar, através da aplicação em um problema de real, que o SIG é uma valiosa ferramenta de apoio à decisão no processo logístico de coleta seletiva de materiais recicláveis, pela grande facilidade para obtenção e tratamento de dados geográficos e pela facilidade e rapidez de geração de diferentes cenários alternativos de decisão, contribuindo para uma análise fundamentada dos efeitos dessa decisão sobre a rede logística como um todo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais), pelo apoio financeiro concedido a diversos projetos que subsidiaram o desenvolvimento desse trabalho. Agradecem também a ACIMAR e a INTECOOP.

6 REFERÊNCIAS

Abrelpe, Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2008**. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/panorama_2008.php> Acesso: 20/11/2009.

Bodin, L. D., Golden, B., Assad, A. e Ball, M., 1983. Routing and Scheduling of Vehicle and Crews: The State of the Art. **Computers and Operations Research**, 10(2), 63-211.

Bowersox, D. J., Closs, D. J. e Cooper, M. B. (2006) **Gestão Logística de Cadeia de Suprimentos**. Porto Alegre: Bookman.

Brasileiro, L. A. e Lacerda, M. G. (2008) Análise do uso de SIG no roteamento dos veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares. **Engenharia Sanitária Ambiental**, 13(4), 356-360.

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

Chang, Ni-Bin. (1997) GIS Technology for vehicle reouting and scheduling in solid waste collection systems. **Journal of environmental engineering**, September, 901-910.

De Brito, M. P. e Dekker, R. (2004) A Framework For Reverse Logistics. In: Dekker, R., Inderfurth, K., Wassenhove, L. V. e Fleischmann, M. (eds.) **Quantitative Approaches to Reverse Logistics**. Springer: Verlag, Berlin, Germany.

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

Dobos, I.; Richter, K. (2006) A production/recycling model with quality consideration. **International Journal of Production Economics**, 104(2), 571-579.

Fleischmann, M., Krikke, H. R., Dekker, R., Flapper, S. D. P. (2000) A characterisation of logistics networks for product Recovery. **Omega**, 28, 653-666.

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

- Guide Jr, V. D. R. e Van Wassenhove, L. N. (2001) Managing product returns for remanufacturing, **Production and operations management**, 10(2),142-155.
- Hamer, G. (2003) Solid waste treatment and disposal: effects on public health and environmental safety. **Biotechnology Advances** 22, 71–79.
- Krumwiede, D. W. e Sheu, C. (2002) A model for Reverse Logistics Entry by Third Party Provides. **Omega**,30, 325-333.
- Law, A. M. e Kelton, W. D. (2000) **Simulation modeling and analysis**, 3. Ed. Boston: McGraw-Hill.
- Leite, P. R. (2003) **Logística Reversa: Meio Ambiente e Competitividade**. São Paulo: Prentice Hall.
- Li, J. Q.; Borenstein, D. e Mirchandani, P. B. (2008).Truck scheduling for solid waste collection in the City of Porto Alegre, Brazil. **Omega**, 36, 1133-1149.
- Lima, R. S., Pons, N. A. D. e Lima, J. P. (2009) Precisão aceitável? A utilização do Google Earth para obtenção de mapas viários urbanos para SIG. **Infogeo**, 57, 34-36.
- Listes, O. e Dekker, R. (2005) A stochastic approach to a case study for product recovery network design. **European Journal of Operational Research**, 160(1), 268-287.
- Martinhon, C.; Lucena, A. e Maculan, N. (2004) Stronger K-tree relaxations for the vehicle routing problem, **European Journal of Operational Research**, 158(1), 56-71.
- Massukado, L M. e Zanta, V. M. (2006) SIMGERE – Software para Avaliação de Cenários de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Domiciliares. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**, 11(2), 133-142.
- Monteiro, B. R. (2007). **Aplicações de sistemas de informação geográfica móveis: um estudo voltado para iniciativas de governo eletrônico na administração pública municipal**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa.
- Pires, N. (2007) **Modelo para a logística reversa dos bens de pós-consumo em um ambiente de cadeia de suprimento**. Tese (doutorado) Curso e Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC.
- Pokharel, S. e Mutha, A. (2009) Perspectives in reverse logistics: A review. **Resources, Conservation and Recycling**, 53, 175-182.
- Ribeiro, H. e Besen, G. R. (2007) Panorama da coleta seletiva no Brasil - desafios e perspectivas a partir de 3 estudos de caso. **InterfacHES**, 2(4),1-18.
- Rubio, S., Chamorro, A. e Miranda, F. J. (2008) Characteristics of the research on reverse logistics (1995-2005). **International Journal of Production Research**, 46(4), 1099-1120.
- Rogers, D. S. e Tibben-Lembke, R. S. (2001) An examination of reverse logistics practices. **Journal of Business Logistics**, 22(2), 129-148.