

Estudo e aplicação de técnicas de geoprocessamento para otimização das rotas de coleta de material reciclável

Vanessa Nastri Oliveira¹
Veronica Dias Dominato¹
Darllan Collins da Cunha e Silva¹

¹ Universidade de Sorocaba - Uniso
Rodovia Raposo Tavares, km, 92.5 - 18023-000, Sorocaba - SP, Brasil
{vanessa.nastri, v.dominato}@hotmail.com; darllan.silva@prof.uniso.br

Abstract. The increase of the residues' generation due to the high population's consume had been worried researches concerning its polluted potential and the need of new places for placement. One alternative to the residues' reduction sent to the landfill is recycling. Selective collection is the beginning of the materials' recover which will be sent to the recycling, and it can be done through workers whose gather into cooperatives aiming a better work and better income conditions. On this way, the present paper aims optimizing the routes of recycling material collection made through a cooperative located in Sorocaba, SP, through geoprocess techniques and special analysis. From the datas collected, it was possible to analyse the development of the routes which it had facilitated to present improvements, aiming the reduction of unproductive routes and raise the quantity of recycling material of the identification of streets with the potential of enrollment of new homes. It was also possible to present a reduction of 3,41 km in the total distance sprinted weekly by a truck and the identification of 24 streets with potential to increase 138 collections spots (domicile) in the routes sprinted during the week. On this way, it was concluded that the methodology proposed to evaluate the collection routes of recycling materials through the application of geoprocess techniques and spatial analysis has shown efficient and it can be considered an useful instrument to the public management in the decision-making.

Palavras-chave: spatial analysis, waster, selective collection, cooperative, análise espacial, resíduos, coleta seletiva, cooperativa.

1. Introdução

O aumento da quantidade de resíduos gerados em consequência do alto consumo da população tem causado preocupação devido ao seu potencial poluidor e à necessidade de novos locais para disposição. A reciclagem de materiais é tida como uma alternativa para a redução de resíduos destinados ao aterro, aumentando sua vida útil, além de proporcionar a economia de matérias-primas e energia do processo produtivo (IBAM, 2001).

Acerca dos aspectos legais que envolvem o estudo, cita-se a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305, de 02 de Agosto de 2010. A PNRS propõe a redução e prevenção da geração de resíduos por meio do consumo sustentável além da reciclagem, reutilização e a destinação ambientalmente adequada apenas dos rejeitos. Institui a coleta seletiva e a logística reversa, além de incentivar a criação e fortalecimento de organizações de catadores de material reciclável.

De acordo com Bringhenti (2004), a coleta seletiva pode ser descrita como a coleta de materiais recicláveis que foram separados por quem os gerou, ou seja, é o início da recuperação dos materiais recicláveis. A coleta seletiva pode ser realizada por Trabalhadores Autônomos da Reciclagem, que se unem para formar algum tipo de organização, associação ou cooperativa, com o objetivo de garantir melhores condições de trabalho e renda. Os trabalhadores realizam a coleta do material reciclável, que é transportado até um galpão de triagem e beneficiamento, operado pelos próprios trabalhadores, sendo que essa parte de transporte é uma importante etapa do processo e que depende, em grande parte, da ajuda financeira do poder público para ser realizada, por fim, o material reciclável é destinado à comercialização e às indústrias de reciclagem.

Para Brasileiro e Lacerda (2008), a roteirização consiste na definição de rotas que serão percorridas por veículos de uma frota atendendo os locais que devem ser visitados. A finalidade é realizar um percurso que atenda à capacidade dos caminhões e o tempo de serviço

da frota, além de atender as limitações de movimentação de veículos nas ruas da cidade com o menor custo em termos de quilometragem percorrida e tempo. Neste sentido, o geoprocessamento pode ser uma importante ferramenta para a construção e obtenção de dados necessários para a gestão destes itinerários. Geoprocessamento é uma tecnologia interdisciplinar para o tratamento da informação geográfica através de técnicas matemáticas e computacionais, como Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que permitem coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar os dados espaciais integrando dados, equipamentos e pessoas (CÂMARA et al., 2004; FITZ, 2008).

Segundo o Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM 2001), os itinerários realizados pelos veículos de coleta de resíduos devem ser planejados de forma a minimizar percursos improdutivos, ou seja, percursos que não há coleta de resíduos.

Diversos autores utilizaram SIG em estudos relacionados à coleta de resíduos. Junior e Filho (2010) e Braga *et al.* (2008) analisaram, com o auxílio de SIG, as rotas de coleta de resíduos sólidos domiciliares dos municípios de Irati, PR e Manaus, AM, respectivamente. Brasileiro e Lacerda (2008) analisaram o uso de ferramenta de SIG na roteirização de coleta de resíduos. Já Lima *et al.* (2012) utilizaram SIG como ferramenta de roteirização do sistema de coleta de resíduos sólidos do município de Itajubá, MG.

Outro autor que realizou estudos semelhantes ao proposto foi Ornelas (2011). Visando contribuir com a operacionalização dos resíduos sólidos urbanos, o autor propôs e testou metodologias que fornecem informações preliminares como auxílio na tomada de decisão para seleção de locais para instalação de aterros sanitários, definição de pontos de entrega voluntária de resíduos recicláveis e definição de rotas de coleta e destinação de resíduos sólidos urbanos utilizando conceitos, técnicas e procedimentos inerentes ao geoprocessamento e análise espacial.

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo otimizar as rotas realizadas por um caminhão coletor de material reciclável da Cooperativa de Trabalho dos Catadores de Material Reaproveitável de Sorocaba (Catares), visando contribuir com a operacionalização da gestão dos resíduos sólidos coletados através da aplicação de conceitos, técnicas e procedimentos inerentes ao geoprocessamento e análise espacial.

2. Metodologia de Trabalho

O município de Sorocaba localiza-se no estado de São Paulo e tem uma população estimada em torno de 652.481 habitantes (IBGE, 2016). A coleta seletiva de Sorocaba é realizada por cooperativas de coleta e triagem de resíduos.

O município é atendido por duas cooperativas, dentre as quais encontra-se a Catares, objeto de estudo. A cooperativa conta com, aproximadamente, 60 cooperados divididos entre coleta do material reciclável e triagem. A coleta do material é realizada por seis equipes, abrangendo 79 bairros do município, com a frequência de uma vez por semana de segunda a sexta-feira, das 7h às 17h.

Cada zona realizada por cada veículo de coleta é composta por 10 trechos que são realizados em cinco dias, conforme observado na Figura 1, sendo separadas nos períodos matutino e vespertino. O objeto de estudo restringiu-se as rotas realizadas pelo caminhão 3, que atende a zona industrial e a região centro sul do município.

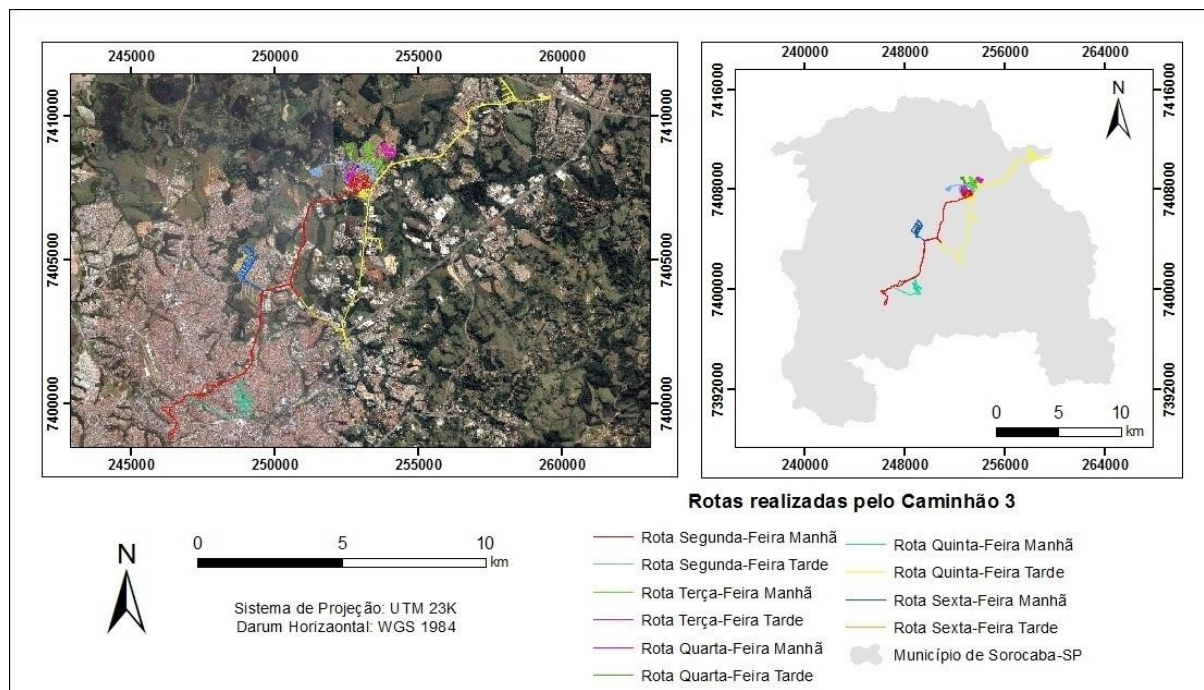


Figura 1. Rotas realizadas pelo caminhão em estudo

Inicialmente, em campo, os itinerários realizados pelo caminhão de coleta de material reciclável foram acompanhados para conhecimento das rotas atuais. Foram obtidos dados de quantidade de material coletado com o auxílio de uma balança de mão e gerado indicadores da quantidade de material coletado por quilômetro rodado e por rua, além de ter sido levantado a quantidade de casas que participam da coleta seletiva.

Após o levantamento dos dados das rotas, foi determinado o total de resíduo coletado por trecho do caminhão e a determinação gravimétrica do material recolhido. Os dados foram lançados no *software* ArcGis 10.2.1 para análise dos trechos produtivos e improdutivos a partir de indicadores de desempenho de coleta de material reciclável, assim como aquelas ruas que tem potencial para aumentar o volume de resíduos coletados e, por conseguinte, ter um melhor aproveitamento do trecho. Por fim, foram propostas alternativas para melhoria das rotas.

3. Resultados e Discussão

Para o caminhão em estudo, foram obtidos dez trechos de coleta realizados durante uma semana. Na Tabela 1 são apresentadas as características obtidas em campo de cada percurso realizado pelo caminhão, tais como: distância total percorrida, quantidade de resíduo coletado e quantidade de pontos de coleta. Para analisar o desempenho do caminhão, foram calculados indicadores a partir dos dados obtidos, tais como: média de kg/km, média de kg/rua e média de kg/casas e estabelecimentos.

Tabela 1. Características das rotas realizadas pelo Caminhão 3

Características Caminhão	Segunda-Feira		Terça-Feira		Quarta-Feira		Quinta-Feira		Sexta-Feira	
	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde
Rota percorrida (em km)	35,56	38,12	36,33	36,29	35,38	36,06	14,48	55,84	30,17	28,55
Quantidade (em kg) coletada	908,97	825,63	972,89	857,12	1313,94	856,76	1216,8	618,69	1246,82	1162,26

Características Caminhão	Segunda-Feira		Terça-Feira		Quarta-Feira		Quinta-Feira		Sexta-Feira	
	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde
Número de estabelecimentos/casas	240	204	276	262	353	239	260	155	253	199
Média de kg/km coletado	25,6	21,1	26,8	23,6	37,1	23,8	84	11,1	41,3	40,7
Média de kg/rua coletado	10,4	10,1	14,9	9,8	17,3	10,7	22,1	8	14,7	14,9
Média de kg/Casas e Estabelecimentos	3,79	4,04	3,52	3,27	3,72	3,58	4,68	3,99	4,93	5,84

As rotas apresentam, de um modo geral, grandes extensões. Isso se deve ao fato das regiões atendidas serem distantes da cooperativa. A rota de Quinta-Feira de manhã apresenta os piores índices, ou seja, é a rota mais extensa da semana, que apresenta menor quantidade de pontos de coleta, assim como a menor quantidade de material recolhido.

Além do conhecimento da quantidade coletada, conhecer a composição do material que é recolhido é necessário, pois de acordo com o Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM 2001), as características físicas, químicas e biológicas dos resíduos variam de acordo com aspectos sociais, econômicos, culturais, geográficos e climáticos. Para a cooperativa, o conhecimento da composição dos resíduos recebidos está relacionado ao faturamento da mesma, já que cada material agrega diferentes valores ao seu faturamento.

Com base na análise gravimétrica representada por 1/10 do recolhido pelo caminhão em uma semana, o vidro é o material que apresentou a maior taxa de recolhimento para as regiões atendidas pelo caminhão, sendo responsável por 46,23% do total, enquanto que, o Pet Azul é o material que apresentou a menor taxa de recolhimento, sendo responsável por 0,14% do total.

Através da análise pode-se observar que, em média 639,71kg do que é recolhido por semana pelo caminhão é caracterizado como lixo, ou seja, corresponde a 6,41% do total arrecadado pela cooperativa dessa região. Com isso, se faz necessário a realização de campanhas para sensibilização junto aos moradores, visando a redução da quantidade de materiais que não são comercializados pela cooperativa e que não podem ser destinados a reciclagem.

Para fins de otimização, foram identificadas as rotas com o pior desempenho, isto é, com baixos índices de coleta de material e com menores taxas de casas e estabelecimentos que participam da coleta seletiva. Para melhorar os índices do caminhão, é necessário adicionar mais pontos de coleta em algumas rotas e, conseqüentemente, aumentar a quantidade de material recolhido.

Os pontos foram distribuídos entre as ruas que possuem poucos pontos de coleta e apresentam índices abaixo da média. Para a rota de Segunda-Feira de manhã todos os pontos foram sugeridos para uma rua. Na Segunda-Feira de tarde foram divididos entre quatro ruas, sendo possível acrescentar pelo menos mais 3 pontos de coleta na Rua Arlindo Pereira Fernandes, mais 5 pontos de coleta na Rua José Luís Flaquer, mais 6 pontos na Pedro de Almeida Lima e mais 9 pontos na Rua José Raimundo de Andrade.

Na Terça-Feira de tarde foram divididos entre duas ruas. Nessa rota, é possível acrescentar mais 10 pontos na Rua Eugênio Rossi e 9 pontos de coleta na Rua Frederico Antônio dos Santos, que é uma rua que o caminhão percorre na rota, porém não possui nenhuma casa ou estabelecimento que participa da coleta seletiva.

Para a rota de Quarta-Feira de tarde, os pontos que são necessários adicionar para melhorar os índices da rota foram divididos entre 6 ruas. As Ruas Augusto Painelli, Arnaldo

Januário Werneck, Manoel Ferreira da Silva, Vicente José Brioschi, Miguel G. Moraes e José Mustapha podem acrescentar mais 3 pontos de coleta para essa rota.

A rota de Quinta-Feira de tarde é a que necessita acrescentar a maior quantidade de pontos, já que é a rota que apresenta o pior desempenho. Para essa rota, os pontos foram distribuídos entre os dois condomínios residenciais que a cooperativa realiza coleta, além de sugerir alternativas, como agregar mais empresas para essa rota e, se possível, outro condomínio como ponto fixo de coleta.

Para minimizar os percursos improdutos, algumas rotas foram reorganizadas de modo a evitar que o caminhão passe mais de uma vez pelas mesmas ruas ou, ainda, pelas ruas que coincidem com as rotas de outros caminhões da cooperativa. Foram respeitadas as limitações de movimentação de veículos da cidade assim como itinerários feitos para evitar o desgaste físico dos cooperados.

Na rota de Segunda-Feira de manhã, mostrada na Figura 2, foi reorganizada de forma que termine onde, atualmente, ela inicia, evitando que o caminhão passe por alguns trechos desnecessários, além da troca de algumas ruas com o período da tarde. Já para a rota de Segunda-Feira de tarde, também apresentada na Figura 2, o percurso foi reorganizado de forma que o caminhão diminua a passagem por algumas ruas e evite que o veículo de muitas voltas, reduzindo o tempo de coleta.

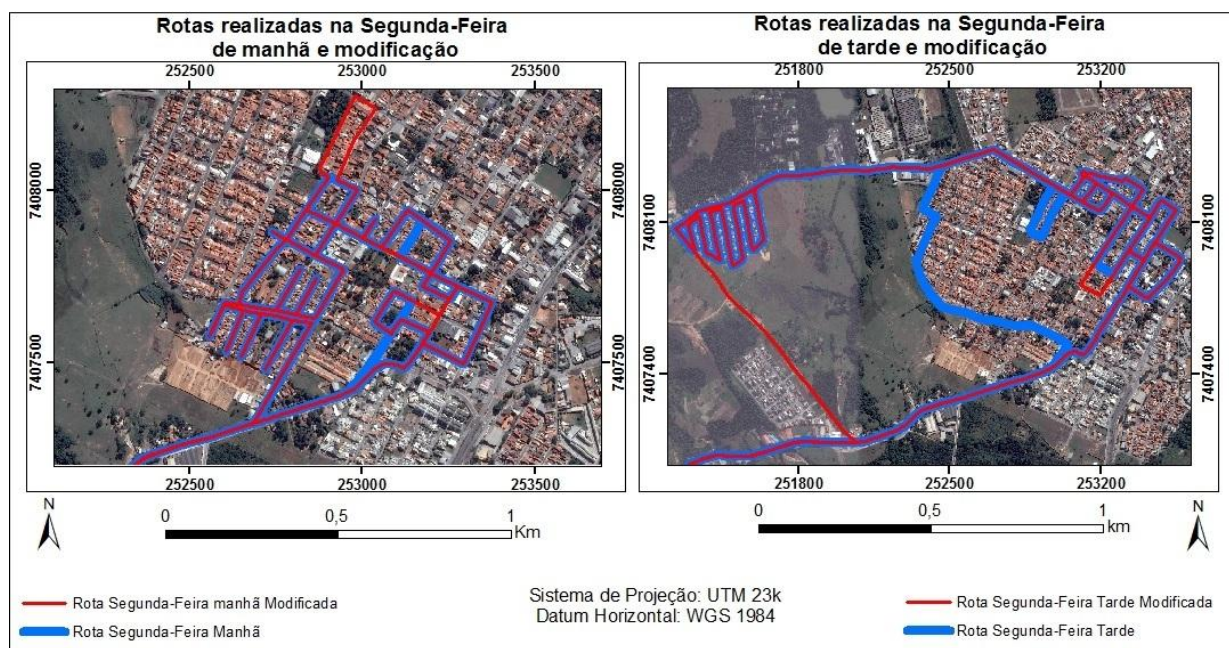


Figura 2. Rotas de Segunda-Feira referentes ao período da manhã e tarde com as alterações propostas

Dos 35,567 km percorridos pelo caminhão na rota de Segunda-Feira de manhã, 86,3% corresponde a trechos improdutos, ou seja, ruas que o caminhão percorre pra chegar na rota e voltar pra cooperativa que não existem pontos para realizar coleta. Das 87 ruas e trechos de rua que o caminhão percorre, 13,7% equivale as ruas que existem casas e estabelecimentos que participam da coleta seletiva. Com as modificações propostas, o caminhão reduz 489 metros dos 35,567 km percorridos pelo veículo de coleta, ou seja, redução de 1,4% na distância.

O total percorrido pelo caminhão na Segunda-Feira de tarde é igual a 39,124 km, dos quais 32,261 km equivale ao percurso que o caminhão passa sem coletar nada, isto é, 82,5% do percurso é improdutivo. Do total de 82 ruas que o caminhão percorre, 29,3% corresponde a quantidade de ruas que participam da coleta seletiva. Com as modificações propostas para

essa rota, o caminhão deixa de percorrer 1,67 quilômetros dos 39,124 km percorridos atualmente, ou seja, redução de 4,3% da rota.

Para as rotas realizadas na Terça-Feira de manhã e de tarde, mostrado na Figura 3, houve uma troca de ruas entre os períodos, facilitando o acesso a alguns pontos de coleta e diminuindo as passagens por algumas ruas.

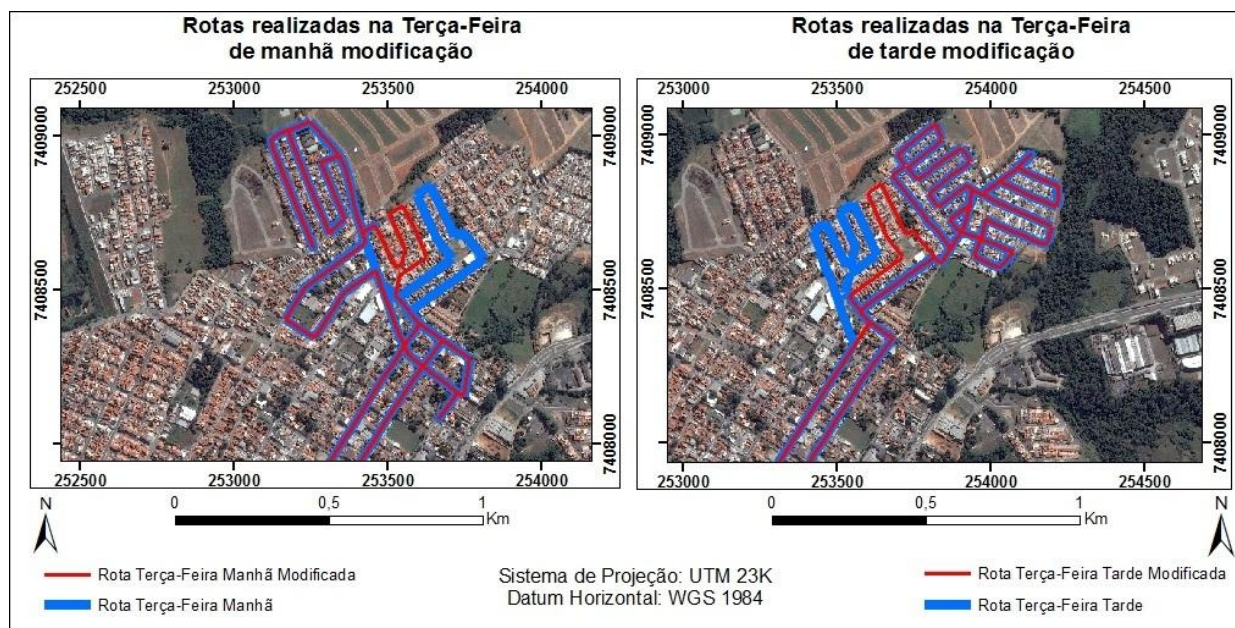


Figura 3. Rotas de Terça-Feira referentes ao período da manhã e tarde com as alterações propostas

Para a rota de Terça-Feira de manhã, 87,9% corresponde à distância que o caminhão percorre e não coleta material, isto é, 31,92km percorridos sem recolher material. Das 65 ruas percorridas nesse dia, 27,7% das ruas participam da coleta seletiva. Com as alterações propostas para essa rota, o caminhão passa a percorrer uma distância de 35,638 km, ou seja, redução de 694 metros para essa rota.

A rota de Terça-Feira de tarde, sem modificação, apresenta 90,1% da distância percorrida nesse período como improdutivo, ou seja, sem coleta. Das 87 ruas e trechos de rua que o caminhão percorre nesse período, 28,7% participam da coleta seletiva. Com as alterações propostas para esse período, o caminhão passa a percorrer 35,73km acarretando numa redução de 560 metros para essa rota.

Para as rotas de Quarta-Feira (manhã e tarde), Quinta-Feira (manhã e tarde) e Sexta-Feira (manhã e tarde) não foram observadas possíveis alterações que acarretassem em melhorias para as rotas já percorridas atualmente pela cooperativa. Algumas alterações poderiam aumentar o percurso realizado pelo caminhão sem trazer para a rota possibilidade de aumentar a quantidade de pontos de coleta e quantidade de material coletado.

Nas rotas que não tiveram alteração, o percurso improdutivo corresponde a 86,6% na Quarta-Feira de manhã, 84,6% na Quarta-Feira de tarde, 71,7% na Quinta-Feira de manhã, 87,9% na Quinta-Feira de tarde, 78,2% na Sexta-Feira de manhã e 79,2% na Sexta-Feira de tarde. Percebe-se que a rota de Quinta-Feira de manhã apresenta a menor taxa de improdutividade, pelo fato dos bairros atendidos nesse período estarem mais próximos a cooperativa, e a Quinta-Feira de tarde a maior taxa de improdutividade, pela distância percorrida pelo caminhão para realizar a coleta ser maior.

Na semana, o caminhão percorre um total 346,78km, dos quais 84,9% correspondem a distância que o veículo percorre por ruas que não possuem coleta. Com as alterações, o

caminhão deixaria de percorrer 3,41km, ou seja, uma redução de, aproximadamente, 1% do percurso total do caminhão, passando a 84,5% a distância percorrida sem coleta material.

No estudo de aplicabilidade de SIG no roteamento de veículo de coleta de resíduos sólidos domiciliares, Brasileiro e Lacerda (2008) obtiveram bons resultados, com redução de até 41% na distância total percorrida no município de Ilha Solteira, SP, utilizando o sistema TransCAD.

Júnior e Filho (2010) obtiveram em seu estudo de avaliação do roteiro de coleta de resíduos sólidos urbanos realizada na região central de Irati, PR, por meio de SIG, o percentual de percurso improdutivo igual a 30,84%, ultrapassando os 20% utilizados como referência para os autores.

Braga et al. (2008) concluíram em seu estudo que roteiros de coleta de lixo domiciliar possuem diversas características próprias, dentre as quais se encontram a relação entre as distância percorrida e atendida, relação do peso produzido pela extensão percorrida, deslocamentos improdutivos, entre outros, ou seja, cada percurso possui padrões de otimização de acordo com suas especificidades.

Considerando os resultados obtidos pelos autores, os índices de redução da distância percorrida pelo caminhão e as altas taxas de percurso improdutivo para as rotas realizadas pelo veículo em estudo foram pouco impactantes, porém deve-se levar em consideração a distância entre a cooperativa e o ponto inicial de coleta, resultando em altos índices de percurso improdutivo, além do que não é permitido pela legislação municipal que o caminhão transite no centro do município, o que dificulta o traçado das novas rotas. No entanto, as mudanças incorporadas aos pontos adicionais sugeridos para as rotas, irão resultar no aumento da quantidade recolhida de material e do valor arrecadado pela cooperativa, fazendo com que essas rotas tenham um melhor desempenho, isto é, as mudanças podem não ser significativas, mas trazem algumas melhorias para as rotas.

4. Conclusões

A utilização do SIG como ferramenta de auxílio permitiu integrar as informações, possibilitando o processo de tomada de decisão para otimização das novas rotas através da análise de possíveis cenários de melhoria que visavam a redução de percursos improdutivos e aumento da quantidade de material reciclável recolhido pelo caminhão.

Com a aplicação do SIG, foi possível reduzir a distância total percorrida semanalmente, além de demonstrar as ruas que tinham potencialidade de aumentar a quantidade de casas e estabelecimentos participantes da coleta seletiva e, conseqüentemente, aumentar a quantidade de material recolhido e, por conseguinte, melhorar o desempenho financeiro da cooperativa.

Portanto, pode-se concluir que a metodologia proposta para avaliar as rotas de coleta de materiais recicláveis através da aplicação de técnicas e procedimentos de geoprocessamento e análise espacial se mostrou eficaz, podendo ser um instrumento bastante útil para a gestão pública na tomada de decisão.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio logístico proporcionado pela Universidade de Sorocaba (Uniso) e ao Grupo Campari pelo financiamento do projeto, indispensável para o desenvolvimento do estudo.

Referências Bibliográficas

Braga, J. O. N.; Costa, L. A. da; Guimarães, A. L.; Tello, J. C. R. O uso do geoprocessamento no diagnóstico dos roteiros de coleta de lixo da cidade de Manaus. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 387-394, 2008.

BRASIL, 2010. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, 3 agosto de 2010.

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

Bringhenti, J. R. **Coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos: aspectos operacionais e da participação da população**. 2004. 316p. Tese (Doutorado em Saúde Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2004.

Câmara, G.; Daves, C.; Monteiro, A. M., 2004. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2004. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/new_page.php?lm=livros.csv&lr=livros_right.csv>. Acesso em: 23 set. 2016.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2016. Disponível em <<http://cod.ibge.gov.br/M4Q>>. Acesso em 23 de Set. de 2016.

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

IBAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. IBAM. Rio de Janeiro. 2001. 204 p.

Junior, A. P.; Filho, P. C. de O. Análise de rotas de coleta de resíduos sólidos domiciliares com uso de geoprocessamento. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient**, v. 8, n. 2, p. 131-144, 2010.

Lima, R. da S.; Lima, J. P.; Silva, T. V. de V. Roteirização em arcos com um sistema de informações geográficas para transportes: aplicação em coleta de resíduos sólidos urbanos. **Journal of Transport Literature**, v. 6, n. 2, p. 180-196, 2012.

Ornelas, A. R. **Aplicação de métodos de análise espacial na gestão dos resíduos sólidos urbanos**. 2011. 101p. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2011.