

Planejamento e implantação de um programa de coleta seletiva: utilização de um sistema de informação geográfica na elaboração das rotas

Planning and implementation of a selective waste collection program: using a geographical information system to calculate the routes

Marcella Bernardo^[a], Renato da Silva Lima^[b]

^[a] Universität Bremen, Bremer Institut für Produktion und Logistik (BIBA), Bremen, Alemanha

^[b] Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Engenharia de Produção e Gestão (IEPG), Minas Gerais, MG, Brasil

Resumo

Com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi instituída a obrigatoriedade de implantação de programas de coleta seletiva e que tais programas sejam eficientes. Tanto na implantação como na melhoria de programas já existentes, deve-se analisar principalmente três questões: quem será o agente executor; qual a modalidade será utilizada e como realizar o planejamento eficiente das rotas de coleta. Uma maneira de otimizar as rotas de coleta é a utilização de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Assim, neste trabalho foi planejado e implementado um programa de coleta seletiva em São Lourenço, Minas Gerais, com a utilização de um SIG na elaboração das rotas. Hoje, duas rotas estão em funcionamento, possibilitando que toda a população do município seja atendida pelo programa de coleta seletiva. Além disso, percebe-se com o trabalho que a modalidade de coleta seletiva porta a porta não é a ideal no início da implantação e que a conscientização da população é a maior barreira para isto.

Palavras-chaves: Política Nacional de Resíduos Sólidos. Coleta seletiva. Sistema de Informação Geográfica.

Abstract

With the National Policy on Solid Waste it has become mandatory to implement selective waste collection programs and that such programs should be efficient. In both implementation and improvement of the selective waste collection programs that already exist, we must consider mainly three questions: who will act as the collection agent; which selective waste collection model will be used and how to effectively plan the collection

MB é mestre em Engenharia de Produção, doutoranda no Bremer Institut für Produktion und Logistik (BIBA), e-mail: ber@biba.uni-bremen.de
RSL é Professor, doutor em Engenharia de Transportes e Coordenador do Laboratório de Logística, e-mail: rslima@unifei.edu.br



DOI: 10.1590/2175-3369.SUPL1.A010 ISSN 2175-3369
Licenciado sob uma Licença Creative Commons

routes. One way to optimize the collection routes is using a Geographic Information System (GIS). Therefore, in this paper it has been planned and implemented a selective waste collection in São Lourenço, Minas Gerais, using a GIS to calculate the routes. Today, there are two collection routes working, allowing the whole population of the city to be served by the selective waste collection program. Furthermore, it has been noticed that the door-to-door collection mode is not the optimal in the beginning of the implementation, and the awareness from the population was the main barrier in the implementation.

Keywords: National Policy on Solid Waste Selective. Waste Collection. Geographic Information System.

Introdução¹

Em 2010 foi aprovada a Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A PNRS reúne os princípios, objetivos, metas e instrumentos relativos à gestão de resíduos sólidos (Baptista, 2014). Segundo Chaves et al. (2014), uma das questões mais importantes para se alcançar os objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos é a implantação de programas de coleta seletiva nos municípios brasileiros, onde deve-se atentar a três questões:

- 1) Quem será o agente executor da coleta seletiva? Existem três opções: prefeitura, empresa particular ou cooperativa/associação de catadores de materiais recicláveis;
- 2) Qual modalidade de coleta seletiva será utilizada? Existem duas opções: a modalidade de porta a porta e a modalidade através de Pontos de Entrega Voluntária (PEVs), também chamados de Ecopontos;
- 3) Como realizar o planejamento eficiente das rotas de coleta dos veículos? Há que se considera que os custos de coleta e de transporte dos materiais recicláveis são os mais significativos em um programa de coleta seletiva.

A modalidade de coleta seletiva a ser utilizada em um programa de coleta seletiva está relacionada com os roteiros de coleta a serem realizados pelo

veículo coletor. O processo de determinação dos roteiros do veículo coletor é chamado de roteirização ou roteamento (do inglês *routing*). Conforme argumenta Battistella (2014), os roteiros de coleta são feitos manualmente, de acordo com a prática da equipe responsável, em grande parte dos municípios brasileiros. Assim, não são elaborados da melhor maneira possível. Para Oliveira & Lima (2010), planejar e estruturar os roteiros de um programa de coleta seletiva é uma atividade complexa, pois é exigido o dimensionamento de muitas variáveis, o que torna o processo complicado para ser realizado sem o apoio computacional. Segundo Nithya et al. (2012), o planejamento e implementação de um sistema de coleta e transporte eficaz podem ser feitos com a utilização de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Nessa mesma linha, Lima et al. (2012) argumentam que uma maneira de melhorar a coleta é a utilização de um SIG no planejamento.

Deste modo, o objetivo deste artigo é o de planejar e implementar um programa de coleta seletiva em um município utilizando um SIG na elaboração das rotas. O município selecionado como objeto de estudo foi São Lourenço, localizado no sul de Minas Gerais, visto que era um município que possuía um novo projeto para implantação. O projeto teve a participação da Cooperativa de Produção e Recicladores de Materiais de São Lourenço (COOPRECI), do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) de São Lourenço, da ONG "Todos por São Lourenço" e dos pesquisadores do Grupo de Pesquisa em Logística, Transporte e Sustentabilidade (LogTranS) da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). O método de pesquisa utilizado foi a pesquisa-ação, pois os pesquisadores e os participantes representativos do problema estavam envolvidos de modo cooperativo e participativo.

¹ Resultados preliminares dessa pesquisa foram apresentados no XXIX Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes (ANPET), em 2015, no trabalho "Implantação de um programa de coleta seletiva: planejamento das rotas através de uma pesquisa-ação".

O artigo está estruturado da seguinte maneira: após essa breve introdução, apresenta-se na seção 2 o referencial teórico utilizado, no qual é abordado o tema relacionado com a coleta seletiva; na seção 3 apresentam-se os procedimentos metodológicos do trabalho. Na seção 4, são detalhadas as etapas utilizadas na condução do projeto. Em seguida, na seção 5, é apresentada a análise dos resultados obtidos, e por fim, na seção 6 estão as conclusões do trabalho, seguidas das referências bibliográficas utilizadas.

Coleta seletiva

A coleta seletiva consiste no processo de separação dos materiais recicláveis do restante considerado lixo. Um dos objetivos de um programa de coleta seletiva é o de melhorar as condições ambientais com a reciclagem e reutilização dos resíduos sólidos, reduzindo a extração de recursos necessários para obter novos materiais (Rada et al., 2014).

Na implantação de um programa de coleta seletiva é necessário levar em conta um número importante de fatores técnicos, econômicos, ambientais e jurídicos relacionados com o lugar onde a atividade será realizada (Toso & Alem, 2014). O planejamento da implantação da coleta envolve algumas considerações, como a frequência, o ponto de coleta, o horário e a forma da coleta, para que causem menos transtornos possíveis para a população e seja sanitária e economicamente adequada. Rodrigues & Santana (2012) destacam três restrições a implantação de um programa de coleta seletiva: custos orçamentários necessários para a implantação, manutenção da coleta seletiva e a cultura ambiental do município.

Desde os anos 2000, cidades brasileiras têm implementado programas de coleta seletiva com diferentes tipos de funcionamento (Lima & Silva, 2013). Segundo pesquisa realizada pelo CEMPRE (2014a), em 43% dos municípios que possuem programas de coleta seletiva, a coleta seletiva é feita pela própria prefeitura; em 37%, por empresas particulares; e em praticamente metade (51%), por cooperativas de catadores. Cooperativas de catadores de materiais recicláveis têm ganhado considerável visibilidade, e diversas políticas públicas para a sua integração têm sido implementadas

nos diferentes níveis do governo nacional, estadual e local (Dias, 2010). Por exemplo, a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, pois os seus principais mecanismos de operacionalidade, a coleta seletiva e a logística reversa, passaram a priorizar a participação e a atuação estratégica e incisiva dos catadores e suas cooperativas (Bortoli, 2013). Segundo Neto (2011) para que boas práticas sejam adotadas pelas cooperativas na coleta seletiva, que passarão a ser de sua responsabilidade, a capacitação dos catadores passa a ser uma necessidade. Capacitá-los para a realização de suas atividades é outra exigência evidente, inclusive para tratar de aspectos de saúde e de segurança de trabalho, que são um dos pontos frágeis na operação das cooperativas.

Com relação a modalidade, cerca de 80% utilizam a modalidade porta a porta e cerca de 45% utilizam a modalidade através de PEVs/Ecopontos. Ressalta-se que pode existir mais de um agente executor e que as duas modalidades podem ser utilizadas ao mesmo tempo em um município CEMPRE (2014a). A modalidade porta a porta ocorre quando a população separa previamente em seus domicílios os materiais recicláveis existentes nos resíduos domésticos para que depois os mesmos sejam coletados por um veículo especializado. Já a modalidade através de PEVs/Ecopontos ocorre quando a população realiza o descarte dos materiais separados em suas residências nesses PEVs/Ecopontos. Os PEVs/Ecopontos são locais definidos estrategicamente, de fácil acesso e com grande fluxo de pessoas (escolas, centros esportivos, bibliotecas, praças, supermercados, bancas de jornal, condomínios etc.). A modalidade porta a porta está associada à roteirização em arcos, pois o veículo coletor precisará passar em todos os segmentos de vias (arcos) para realizar a coleta seletiva. Entretanto, a modalidade através de PEVs/Ecopontos está associada à roteirização em nós, onde cada PEVs/Ecopontos é um nó que precisa ser atendido (Bernardo, 2016). Battistella (2014) argumenta que a roteirização da coleta em um programa de coleta seletiva é uma ferramenta que reduz as consequências da falta de planejamento urbano, e otimiza a utilização dos recursos materiais e humanos. Portanto, faz-se necessária a definição de roteiros ótimos a serem seguidos pelos veículos coletores. Em geral, três objetivos

podem ser considerados para a roteirização da coleta e transporte: minimizar a distância total de coleta; minimizar o custo total de coleta e minimizar o tempo total de coleta (Oliveira et al., 2014). Segundo Malakahmad et al. (2014), a tomada de decisão eficaz em relação à roteirização da coleta e transporte requer a implementação de técnicas de roteirização de veículos utilizando os Sistemas de Informação Geográfica.

Metodologia

A cidade de São Lourenço, objeto de estudo desse trabalho, é um dos municípios que não possuía de fato um programa de coleta seletiva (CEMPRE, 2014a). Existe na cidade uma cooperativa de catadores, a chamada Cooperativa de Produção de Recicladores de Materiais de São Lourenço (COOPRECI) que funciona desde 2009 e realiza algumas atividades de coleta seletiva no município. Em dezembro de 2014 foi assinado um projeto entre o Serviço de Água e Esgoto (SAAE) de São Lourenço e a ONG “Todos por São Lourenço”. Com esse projeto, a ONG recebeu uma verba e começou a contar com auxílio do Grupo de Pesquisa em Logística, Transportes e Sustentabilidade (LogTranS) da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) para assessorar o projeto de implantação do programa de coleta seletiva no município de São Lourenço. Desse modo, foi iniciada então uma pesquisa-ação, para planejar e implantar todo o sistema de coleta seletiva. Foi utilizada a pesquisa-ação como método de pesquisa no projeto de implantação porque, conforme argumentam Coghlan & Shani (2014), o problema de pesquisa é um problema real; incluiu as decisões e ações por parte dos profissionais envolvidos na situação problema e promoverá tanto a mudança na cidade como a geração de conhecimento. Para a condução da pesquisa-ação foi definido um time de pesquisa-ação: dois funcionários da ONG “Todos por São Lourenço”, o gerente da COOPRECI e os pesquisadores do grupo LogTranS. O time de pesquisa-ação é responsável pelo planejamento, ação e avaliação dos resultados das ações que foram executadas e monitoramento das atividades. O projeto de implantação foi realizado em algumas etapas, descritas na próxima seção.

Desenvolvimento do projeto

Esta seção apresenta como foram realizadas as etapas do projeto de implantação do programa de coleta seletiva na cidade de São Lourenço, Minas Gerais. A primeira etapa realizada foi a coleta e análise dos dados, em seguida passou-se para a etapa de planejamento da implantação, por fim, foi realizada a implantação do programa.

Coleta e análise dos dados

Primeiramente, foram coletados os dados referentes a COOPRECI e a atividade de coleta seletiva no município de São Lourenço. Para isso, foram realizadas visitas ao galpão da cooperativa, análise de documentos da cooperativa e da ONG, entrevistas com os cooperados, reuniões com a ONG e o acompanhamento do caminhão utilizado pela cooperativa durante uma semana. Os catadores trabalhavam em dois turnos, saíam para realizar a coleta durante a manhã e voltavam à tarde para realizar a triagem, prensagem e pesagem. Um gerente foi contratado pela ONG “Todos por São Lourenço”, com a função de dar todo o tipo de suporte aos cooperados. O caminhão utilizado pela cooperativa era disponibilizado pela prefeitura da cidade e possui capacidade de 20 toneladas.

Com o acompanhamento do caminhão durante uma semana, foi possível realizar o mapeamento das duas rotas que estavam sendo realizadas pelo caminhão, a Rota 01, que se repetia na segunda, quarta e sexta-feira e a Rota 02 que se repetia na terça e quinta-feira. Para realizar o mapeamento foi utilizado um aparelho GPS portátil, armazenando os dados relacionados às duas rotas, tais como velocidade média, tempo total decorrido, pontos de paradas, entre outros. Em seguida, esses dados foram transferidos para o software TransCAD (versão acadêmica 6.0) utilizando o software MapSource para a conversão das informações geográficas. As Rotas 01 e 02 são apresentadas na Figura 1. Ambas as rotas começam e terminam na cooperativa COOPRECI. As características das duas rotas são apresentadas na Tabela 1.

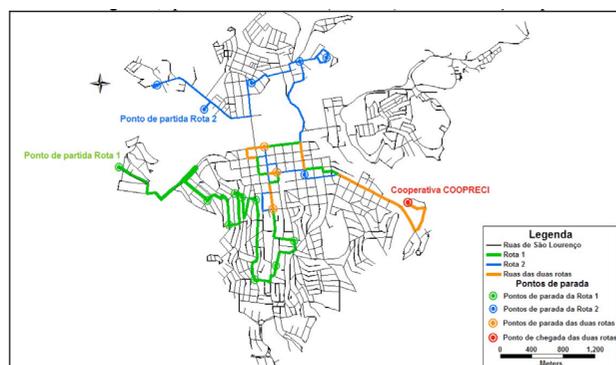


Figura 1 - Rota de segunda, quarta e sexta-feira (Rota 01) e rota de terça e quinta-feira (Rota 02).

Fonte: Elaborada pelos autores.

Tabela 1 - Dados das duas rotas mapeadas

Variáveis	Rota de segunda, quarta e sexta-feira (Rota 01)	Rota de terça e quinta-feira (Rota 02)
Distância total percorrida	15,2 km	15,8 km
Tempo total decorrido	04 hrs 49 min	02 hrs 54 min
Velocidade média	4 km/h	5 km/h
Pontos de parada	13	09
Tempo médio em cada ponto de parada	10 min	10 min

Fonte: Elaborada pelos autores.

Pelo acompanhamento da coleta de dados, percebeu-se que os catadores da COOPRECI não possuíam uniforme, luvas, botas, mesa de triagem e nenhuma forma de controle da quantidade de material que era coletada e vendida. A falta de uniforme fazia com que os catadores não fossem identificados e associados à cooperativa por parte da população, o que dificultava a adesão da população na coleta seletiva. A falta de luvas e botas trazia danos à saúde dos cooperados que muitas vezes se cortavam com os materiais coletados. Já a falta de uma mesa de triagem dificultava a separação do material coletado, pois fazia com que os materiais ficassem dispostos no chão para realizar a triagem. Por fim, a falta de uma forma de controle da quantidade de material que era coletada e vendida dificultava o controle de como estava o desempenho da cooperativa. O material coletado em um mês pela cooperativa era vendido no começo do mês seguinte sempre para a única empresa atravessadora da região. Percebeu-se também que o número de

catadores da COOPRECI era reduzido. As duas cidades vencedoras do Prêmio Cidade Pró-catador (prêmio que reconhece programas de coleta seletiva eficientes), da mesma faixa populacional que São Lourenço, foram as cidades de Cratêus/Ceará e Manhumirim/Minas Gerais (CEMPRE, 2014b). Ambas as cidades contam com somente uma cooperativa de catadores e possuem 20 e 32 catadores associados às cooperativas das cidades, respectivamente.

Com o acompanhamento do caminhão durante uma semana e posterior mapeamento das rotas verificou-se que a atividade de coleta seletiva no município estava mal estruturada. O caminhão só passava em algumas ruas de alguns bairros da cidade, nos mesmos dias da coleta de lixo convencional e não possuía horários específicos para realizar a coleta, o que fazia com que os catadores coletassem pouco material reciclável. O material coletado no mês de janeiro pela cooperativa foi vendido no mês de fevereiro, e por meio do controle da ONG e dos pesquisadores da quantidade de material vendido foi possível estimar a quantidade de material que foi coletada no mês de janeiro/2015: aproximadamente 3.200 kg de materiais recicláveis. Tal quantidade é reduzida, visto que segundo o Diagnóstico de Resíduos Sólidos (SNIS, 2013) em uma cidade na mesma faixa populacional que o município de São Lourenço, a massa média recolhida na coleta seletiva por catadores com apoio da prefeitura é de 6.026 kg por mês. Deste modo, da análise desses dados, chegou-se à conclusão que não existia de fato um programa de coleta seletiva no município, mas sim somente alguma atividade de coleta seletiva. Notou-se também que a cooperativa estava funcionando de maneira precária, fazendo com que a mesma não fosse autossustentável financeiramente, isto é, o que a COOPRECI ganhava com a venda do material reciclável coletado e prensado não estava cobrindo seus custos. Após a coleta e análise dos dados passou-se para o planejamento das ações.

Planejamento da implantação

Nesta etapa foram planejados:

- 1) Qual a modalidade de coleta seletiva será utilizada. Foi estabelecido que serão utilizadas as duas modalidades: a modalidade porta a porta e a modalidade através de PEVs/Ecopontos. A modalidade porta a porta será

- utilizada em 27 bairros e a modalidade através de PEVs/Ecopontos será utilizada somente no centro da cidade;
- 2) Quais os dias e horários de realização da coleta seletiva em cada bairro. Foi estabelecido que a mesma deverá ocorrer em dias alternados ao da coleta de lixo convencional e entre às 07 e às 12 horas;
 - 3) Quais os dias de implantação em cada bairro. Foi criado um cronograma de implantação. Os 28 bairros do município ficaram divididos em 07 grupos de bairros, e cada grupo de bairros teria uma data diferente para ocorrer à implantação;
 - 4) Quais as formas de divulgação do programa. Foi definido que seriam utilizados panfletos, jornais, internet e rádio como meios de comunicação.

Para a elaboração das rotas a serem realizadas em cada bairro foi utilizado o SIG TransCAD (versão acadêmica 6.0). Primeiramente, já que seria utilizada a modalidade porta a porta, foi realizada a roteirização em arcos (rotina *Arc Routing*) no SIG. Todavia, devido à justificativa de altos custos de transporte sem previsão do nível de participação da população, pois o caminhão teria que passar em todas as ruas do bairro, notou-se que a roteirização em arcos não seria a ideal. Com essa dificuldade percebeu-se a necessidade de proceder de uma maneira diferente. Foi utilizada a lógica da modalidade de coleta seletiva porta a porta, porém associada à roteirização em nós. Explica-se: foram definidos junto com o gerente da COOPRECI pontos de parada (nós) nos 27 bairros onde o caminhão da coleta seletiva deveria permanecer parado enquanto os catadores percorreriam as ruas adjacentes dos pontos de parada e encontrariam o caminhão nesses pontos para depositarem o material reciclável até então coletado. Logo, foi escolhida a roteirização em nós para os pontos de parada e os catadores deveriam percorrer todas as ruas dos bairros realizando a coleta seletiva. Foi escolhida a cooperativa COOPRECI como ponto de partida e chegada. Deste modo, já que em um segundo momento foi escolhida a roteirização em nós, utilizou-se então a rotina *Vehicle Routing Problem* (VRP) do software TransCAD para a elaboração da rota do caminhão da coleta seletiva nos 27 bairros.

Além da elaboração das rotas, ocorreu nesta etapa o planejamento da contratação de um novo caminhão para a cooperativa. Foi verificado com a etapa de

coleta e análise de dados que o caminhão que a cooperativa utilizava para realizar a coleta seletiva não era o mais apropriado, pois ele tem uma capacidade muito grande (20.000 kg). Em um cenário otimista (com o caminhão atendendo 100% da população e toda a população separando todo o seu material reciclável), seria necessário um caminhão com capacidade de 14.943kg ($1,041 \times 31,9\% \times 45.000$). Essa estimativa leva em consideração: a geração per capita de resíduos sólidos urbanos (1,041 kg/hab./dia) (ABRELPE, 2013); a participação de materiais recicláveis na composição gravimétrica média dos RSU (31,9%) (IBGE, 2008) e a população de São Lourenço (cerca de 45.000 habitantes) (IBGE, 2010). Face ao caráter otimista dessa estimativa, já que nem toda a população separaria seu material reciclável, foi estabelecido com os cooperados que um caminhão com metade da capacidade calculada, ou seja, cerca de 7.000 kg seria o ideal. Visto que, o valor do aluguel do caminhão será mais barato, os gastos com combustíveis será menor e o caminhão poderá passar em todas as ruas da cidade. Posteriormente a etapa de planejamento da implantação foi realizada a etapa de implantação do programa de coleta seletiva no município.

Implantação do programa

A primeira atividade realizada nesta etapa foi a divulgação do programa. O programa foi divulgado por meio de panfletos distribuídos de porta em porta em cada bairro, de notícias na internet, de jornais e das rádios da cidade. Em seguida, foram fornecidos uniformes, luvas e botas para os cooperados, e foi doada uma mesa de triagem para a cooperativa pela empresa Nestlé *Waters*, localizada em São Lourenço.

Conforme destacado anteriormente, para a implantação do programa no município foi criado um cronograma de implantação. Deste modo, cada um dos 28 bairros ficaram divididos em 07 grupos de bairros, e cada grupo de bairro teve uma data diferente de implantação. Em cada grupo de bairros, dos 27 bairros atendidos pela modalidade porta a porta, existiam bairros atendidos pelo serviço de coleta seletiva na segunda, quarta e sexta-feira e bairros atendidos nas terças e quintas-feiras. No total foram sete dias de implantação. O primeiro grupo de bairros era formado pelo bairro escolhido como bairro piloto e pelo centro. Foi escolhido um bairro como piloto para que

todos os acertos e erros gerados na implantação no bairro piloto fossem replicados e corrigidos, respectivamente, na implantação do programa nos bairros seguintes. No bairro piloto a modalidade utilizada é a porta a porta, e no centro os PEVs/Ecopontos. Foram instalados dois PEVs no centro da cidade. A escolha da localização desses PEVs foi baseada em entrevistas realizadas com alguns moradores da cidade. Os pontos escolhidos aparecem na Figura 2.

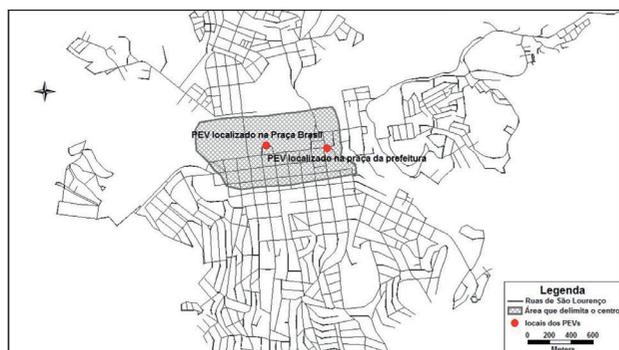


Figura 2 - Locais escolhidos para a instalação dos dois PEVs.
Fonte: Elaborada pelos autores.

Em cada um dos sete dias de implantação em cada grupo de bairros acompanhou-se os catadores e o motorista do caminhão, mostrando quais as ruas cada um dos catadores deveria percorrer e quais eram os pontos em que o caminhão deveria permanecer parado e que os catadores deveriam encontrar o caminhão para depositar o material reciclável até então coletado. Os dados referentes à implantação em cada bairro foram coletados com o auxílio de um aparelho GPS portátil. A Tabela 2 mostra a evolução da implantação do programa ao longo da implantação nos sete grupos de bairros, apresentando quantos bairros eram componentes de cada grupo e quantos são atendidos pelo serviço de coleta seletiva na rota que se repete segunda, quarta e sexta-feira e quantos são atendidos na rota de terça e quinta-feira em cada grupo. Além disso, a tabela apresenta qual o total de bairros e a área total que passaram a ser atendidos com a implantação em cada grupo.

Tabela 2 - Evolução da implantação

Variáveis	Grupo 01		Grupo 02		Grupo 03		Grupo 04		Grupo 05		Grupo 06		Grupo 07	
	Seg/ qua/ sex	ter/ qui	Seg/ qua/ sex	ter/ qui	Seg/ qua/ sex	ter/ qui								
Bairros atendidos	0	1	02	02	02	03	02	02	0	04	05	0	0	04
Pontos de parada	-	08	10	13	10	15	10	12	-	20	28	-	-	27
Tempo gasto calculado pelo SIG	-	01 h 40 min	01 h 55 min	02 h 19 min	02 h 15 min	03 h 45 min	03 h 13 min	04 h 25 min	-	04 h 02 min	05 h 50 min	-	-	04 h 30 min
Tempo gasto em cada rota	-	01 h 30 min	01 h 45 min	02 h 10 min	02 h 22 min	03 h 38 min	03 h 02 min	04 h 18 min	-	05 h 42 min	05 h 57 min	-	-	04 h 28 min
N. total de bairros atendidos	02		06		11		15		19		24		28	
Área total atendida (km ²)	0,53		3,16		4,11		5,44		7,30		9,81		11,50	
Porcentagem em relação ao total	4%		27%		35%		47%		63%		85%		100%	

Fonte: Elaborada pelos autores.

O tempo total decorrido para a realização das rotas planejadas nos dias da implantação em cada grupo de bairros foi compatível com o tempo calculado pelo TransCAD em todos os grupos, exceto no quinto grupo de bairros. Ou seja, o tempo planejado pelo TransCAD para a rota de terça e quinta-feira do

quinto grupo de bairros não foi similar ao tempo decorrido no dia da implantação. Isto ocorreu devido a uma diferença entre os tempos gastos nos pontos de parada pelos catadores. Os catadores passaram a gastar 5 minutos em cada ponto de parada ao invés dos 10 minutos que haviam sido coletados

com o mapeamento das rotas anteriores (Rota 01 e Rota 02) na fase de coleta e análise dos dados. Com esse novo valor a rota para o quinto grupo de bairros foi novamente elaborada, junto com as rotas para o sexto e o sétimo grupo de bairros. A Figura 3 apresenta as duas rotas finais elaboradas pelo SIG TransCAD, a rota de segunda, quarta e sexta-feira e a rota de terça e quinta-feira, de modo que o serviço atendesse todo o município. A Tabela 3 apresenta os resultados relacionados com as duas rotas finais.

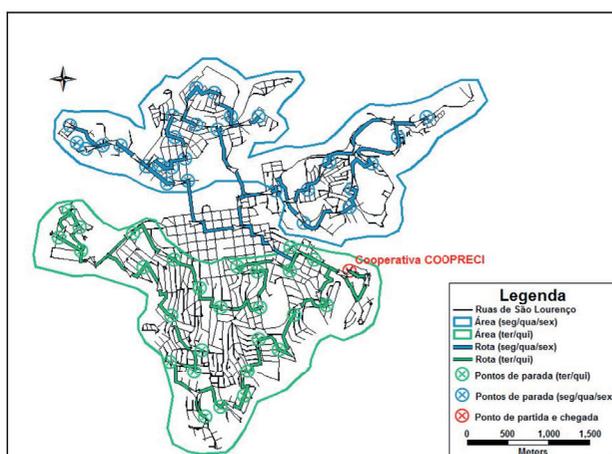


Figura 3 - Duas rotas finais elaboradas no TransCAD.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Tabela 3 - Resultados das duas rotas finais

Variáveis	Rota de segunda, quarta e sexta-feira	Rota de terça e quinta-feira
Distância total percorrida	23 km	18,6 km
Tempo total decorrido	4 h 43 min	4 h 28 min
Velocidade média	4,5 km/h	4,5 km/h
Pontos de parada	28	27
Tempo médio em cada ponto de parada	5 min	5 min

Fonte: Elaborada pelos autores.

Análise dos resultados

Nesta seção são comparados os dados anteriores e posteriores à realização do projeto de implantação do programa de coleta seletiva no município de São Lourenço. A Tabela 4 apresenta informações sobre a cooperativa COOPRECI e sobre o serviço de coleta seletiva antes e após a condução do projeto de implantação.

Tabela 4 - Comparação entre os dados antes e após a implantação

Situação	Antes	Após
Caminhão	20.000 kg	7.000kg
Número de catadores associado a cooperativa	3 catadores	7 catadores
Volume coletado no mês	3.200 kg	12.070 kg
Volume coletado por catador	1.066 kg	1.724 kg
Salário recebido por catador	R\$ 470,62	R\$ 788,00
Ruas atendidas pela coleta seletiva	65 ruas	Todas as ruas do município
Bairros completos atendidos pela coleta seletiva	0	28 bairros

Fonte: Elaborada pelos autores.

Nota-se que antes do projeto a cooperativa utilizava um caminhão que não era adequado para a realização do serviço no município, o que acarretava um maior gasto com combustível e prejudicava a execução da coleta seletiva, já que o caminhão não conseguia passar em algumas ruas da cidade. No final do projeto, a COOPRECI contava com um caminhão com uma capacidade mais adequada. Com a realização do projeto houve um aumento do número de catadores associados a cooperativa e uma melhoria da quantidade coletada por mês pela cooperativa e do volume coletado por catador. O aumento do número de catadores é de grande valia, pois possibilita maior garantia da regularidade do serviço de coleta seletiva. A melhoria da quantidade coletada por mês pela COOPRECI pode ter relação principalmente com o início das campanhas de conscientização junto com a população, que resultaram em um aumento da participação da população no programa. A melhoria do volume coletado por catador deve estar relacionada com o fato de que foram fornecidas as condições básicas para a melhoria do trabalho dos cooperados, por exemplo, luvas, botas, melhor caminhão etc.

Com o projeto, foi possível a implantação do programa de coleta seletiva em todos os 28 bairros do município, 27 sendo atendidos por meio da modalidade porta a porta e o bairro centro por meio da modalidade através de PEVs/Ecopontos. Assim, todas as ruas e todos os bairros da cidade passaram a ser atendidas pelo serviço de coleta seletiva. A implantação de forma gradativa, iniciada no bairro piloto e seguindo com a expansão do programa, permitiu que todos os acertos e erros gerados na implantação no bairro piloto fossem replicados e corrigidos,

respectivamente, na implantação do programa nos bairros seguintes, melhorando a eficiência do programa. Vale ainda destacar que comparando a Rota 01 e a Rota 02 com a rota final elaborada pelo TransCAD de segunda, quarta e sexta-feira e de terça e quinta-feira, respectivamente, percebe-se que com apenas 7,8 e 2,8 km a mais nas rotas finais foi possível atender toda a população da cidade. Além disso, o tempo total decorrido para a realização da rota final de segunda, quarta e sexta-feira foi menor que o tempo total decorrido na Rota 01. Logo, a utilização do SIG permitiu a elaboração de roteiros de coleta mais eficazes, no que diz respeito à utilização dos veículos de coleta, tempos em rota e distâncias percorridas.

Além disso, foram identificadas algumas barreiras para a implantação do programa, tais como:

- 1) Conscientização e participação da população. Durante todo o projeto foi necessário realizar campanhas de divulgação e conscientização sobre o programa junto da população utilizando diversos meios de comunicação.
- 2) Falta de estrutura da cooperativa. Os itens básicos para o funcionamento da cooperativa tiveram que ser fornecidos ao longo do projeto.
- 3) Falta de benefícios trabalhistas para os cooperados. Durante a realização do projeto, a ONG e os pesquisadores fecharam um acordo com o SAAE. Esse acordo permitiu que a ONG usasse parte da verba recebida para complementar o salário dos catadores da COOPRECI, de forma que eles recebessem um salário mínimo por mês.
- 4) Falta de capacitação dos cooperados. Foram realizadas diversas reuniões com os cooperados com o intuito de capacitá-los e treiná-los para a execução das atividades administrativas da cooperativa, e de enfatizar com cada um deles a importância de se garantir uma regularidade do serviço de coleta.

Conclusões

A PNRS apresentou uma nova situação em termos de implantação e melhoria de programas de coleta seletiva para os municípios brasileiros. Para se adequarem a nova lei, todos os municípios brasileiros precisarão possuir programas de coleta seletiva e que

tais programas funcionem de maneira eficiente. Uma forma de realizar o planejamento e implantação de um programa de coleta seletiva eficaz é por meio da utilização da tecnologia SIG. Deste modo, o objetivo deste trabalho foi planejar e implantar um programa de coleta seletiva no município de São Lourenço, utilizando um SIG na elaboração das rotas de coleta. O município não possuía um programa de coleta seletiva, mas somente alguma atividade de coleta seletiva realizada pela cooperativa de catadores (COOPRECI).

Com a realização do projeto de implantação foi possível melhorar a eficiência da cooperativa e do trabalho dos catadores e, conseqüentemente, o serviço de coleta seletiva. Hoje, toda a população da cidade é atendida pelo serviço de coleta seletiva e a cooperativa COOPRECI é autossustentável financeiramente, isto é, o que a cooperativa ganha cobre seus custos. Acredita-se que o fator crítico na implantação do programa de coleta seletiva é a conscientização e participação da população no programa. A população deve ter consciência do quanto a coleta seletiva contribui na resolução dos problemas ambientais, além da renda que a mesma fornece aos catadores. Deste modo, diversos meios de comunicação devem ser utilizados para a divulgação do programa.

Tal conscientização e participação são também relevantes quando se analisam os custos relativos à implantação. Por exemplo, notou-se com o projeto que a roteirização em arcos não é a ideal para a implantação de um programa de coleta seletiva. Também não é a ideal para uma cidade onde a população não é consciente sobre a necessidade de sua participação no programa. A roteirização em arcos está associada com a modalidade de coleta seletiva porta a porta, modalidade mais utilizada nos municípios brasileiros (CEMPRE, 2014a), e neste tipo de roteirização o veículo coletor tem que passar por todas as ruas realizando a coleta. Logo, passar em todas as ruas com o caminhão da coleta seletiva para atender a população acarretará em grandes custos de transporte que provavelmente não serão pagos com a venda do material reciclável coletado. Esse fator é especialmente importante no início da implantação, onde não há um grande volume de material reciclável recolhido, pois não existe ainda uma grande participação da população em relação ao programa. Uma adaptação utilizando a roteirização em nós com a característica da modalidade porta a porta (passar em todas as residências) foi a que mais atendeu os requisitos da COOPRECI.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES, ao CNPq e a FAPEMIG, pelo apoio financeiro concedido a diversos projetos que subsidiaram o desenvolvimento desse trabalho.

Referências

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE. (2013). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil.

Baptista, V. F. (2014). As políticas públicas de coleta seletiva no município do Rio de Janeiro: onde e como estão as cooperativas de catadores de materiais recicláveis? *Revista Administração Pública*, 49(1), 141-164. <http://dx.doi.org/10.1590/0034-76121603>

Battistella, N. (2014). *Avaliação de modelo computacional para planejamento e otimização de rotas de coleta para catadores de materiais recicláveis* (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Bernardo, M. (2016). *Implantação de um programa de coleta seletiva: uma pesquisa ação na cidade de São Lourenço, Minas Gerais* (Dissertação de Mestrado) Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.

Bortoli, M. A. (2013). Processos de organização de catadores de materiais recicláveis: lutas e conformações. *Revista Katálysis*, 16(2), 248-257.

Brasil (2010, 2 de agosto). Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e outras providências. Presidência da República, Casa Civil, Brasília. Recuperado em 15 de abril de 2015, de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm

Coghlan, D., & Shani, A. B. (2014). Creating action research quality in organization development: rigorous, reflective and relevant. *Systematic Practice and Action Research*, 27(6), 523-536. doi: 10.1007/s11213-013-9311-y

Compromisso Empresarial para a Reciclagem - CEMPRE. (2014a). *Pesquisa CICLOSOFT*. Recuperado em 10 de janeiro de 2015, de <http://cempre.org.br/ciclossoft/id/2>

Compromisso Empresarial para a Reciclagem - CEMPRE. (2014b). CEMPRE informa número 134 março/abril 2014: desafios e oportunidades. Recuperado em 20 de abril de 2015, de <http://cempre.org.br/cempre-informa/id/15/pro-catador--premio-reconhece-programas-de-coleta-seletiva-eficientes->

Chaves, G. L. D., Santos Jr, J. L., & Rocha, S. M. S. (2014). The challenges for solid waste management in accordance with Agenda 21: a Brazilian case review. *Waste Management & Research*, 32(9), 19-31. doi: 10.1177/0734242X14541987

Dias, S. M. (2010). *Overview of the Legal Framework for Social Inclusion in Solid Waste Management in Brazil*. Cambridge, Massachusetts. Recuperado em 10 de janeiro de 2016, de <http://wiego.org/publications/overview-legal-framework-social-inclusion-solid-waste-management-brazil>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. (2008). *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico*. Recuperado em 07 de janeiro de 2016, de http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. (2010). *IBGE Cidades*. Recuperado em 10 de março de 2015, de <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/link.php?uf=mg>

Lima, R. S., Lima, J. P., & Silva, T. V. V. (2012). Roteirização em arcos com um sistema de informações geográficas para transportes: aplicação em coleta de resíduos sólidos urbanos. *Journal of Transport Literature*, 6(2), 180-196. doi: 10.1590/S2238-10312012000200010

Lima, R. M. S. R., & Silva, S. M. C. P. (2013). Evaluation of a municipal program of selective collection in the context of the national policy of solid waste. *Acta Scientiarum*, 35(4), 645-653. doi: 10.4025/actascitechnol.v35i4.16095

Malakahmad, A., Bakri, P. M., Mokhtar, M. R. M., & Khalil, N. (2014). Solid waste collection routes optimization via GIS techniques in Ipoh city, Malaysia. *Procedia Engineering*, 77, 20-27. doi: 10.1016/j.proeng.2014.07.023

Neto, T. J. P. (2011). A Política Nacional de Resíduos Sólidos: Os reflexos nas cooperativas de catadores e a logística reversa. *Diálogo*, 18, 77-96.

- Nithya, R., Velumani, A., & Senthil Kumar, S. R. R. (2012). Optimal location and proximity distance of municipal solid waste collection bin using GIS: a case study of Coimbatore City. *Wseas Transactions on Environment and Development*, 8(4), 107-119.
- Oliveira, R. L., & Lima, R. S. (2010). Logística Reversa: A utilização de um Sistema de Informações Geográficas na coleta seletiva de materiais recicláveis. *4º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável*, Faro, Portugal: PLURIS.
- Oliveira, R. L., Lima, R. S., & Lima, J. P. (2014). Arc Routing Using a Geographic Information System: Application in Recyclable Materials Selective Collection. *Advanced Materials Research (Online)*, 838-841, 2346-2353. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.838-841.2346
- Rada, E. C., Zatelli, C., & Mattolin, P. (2014). Municipal solid waste selective collection and tourism. *WIT Transaction Ecology Environmental*, 180, 187-197. doi: 10.2495/WM140161
- Rodrigues, W., & Santana, W. C. (2012). Análise econômica de sistemas de gestão de resíduos sólidos urbanos: o caso da coleta de lixo seletiva em Palmas, TO. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 4(2), 299-312. doi: 10.7213/urbe.7402
- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS. (2013). Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos. Recuperado em 10 de março de 2015, de <http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=93>
- Toso, E. A. V., & Alem, D. (2014). Effective location models for sorting recyclables in public management. *European Journal of Operational Research*, 234(3), 839-860. doi: 10.1016/j.ejor.2013.10.035

Recebido: Nov. 16, 2016

Aprovado: Jan. 11, 2017