

Gestão espacial das rotas de coleta de material reciclável com suporte de SIG e indicadores de produtividade

RESUMO

O aumento da produção de resíduos sólidos urbanos é problema recorrente para os gestores públicos, sendo necessários estudos que contemplem a sua gestão e metodologias que permitam otimizar as rotas de coleta. Portanto, esse estudo tem como objetivo mapear as rotas de coleta seletiva e identificar oportunidades de melhorias por meio de indicadores quantitativos de material coletado e geotecnologias. Para tanto, foi realizado o levantamento da quantidade de material reciclável coletado por trecho percorrido; analisado o desempenho das rotas; proposta a minimização de percursos improdutivos; e sugeridas novas rotas com alto potencial de recolhimento de material reciclável. Os resultados apontaram que a gestão das rotas proporcionou um acréscimo de 2,75 toneladas por mês de resíduos recicláveis e uma arrecadação de R\$ 2.777,96/mês, evidenciando a importância da análise espacial como instrumento de gestão dos resíduos sólidos para cooperativas de reciclagem.

PALAVRAS-CHAVE: Geoprocessamento. Cooperativa. Resíduos sólidos. Coleta seletiva

Darllan Collins da Cunha e Silva

<https://orcid.org/0000-0003-3280-0478>

darllan.collins@unesp.br

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, São Paulo, Brasil.

Liliane Moreira Nery

<https://orcid.org/0000-0002-5352-5316>

liliane.nery@unesp.br

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, São Paulo, Brasil.

Vanessa Cézar Simonetti

<https://orcid.org/0000-0001-6845-4875>

va_simonetti@hotmail.com

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, São Paulo, Brasil.

INTRODUÇÃO

O aumento da produção de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil trouxe à tona uma preocupação quanto a sua gestão, especialmente quanto ao descarte. Neste sentido, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) possui instrumentos importantes que regulamentam e sugerem soluções para os problemas gerados quanto à gestão de resíduos sólidos, com destaque para a reciclagem de RSU (BRASIL, 2010).

Na PNRS, a coleta seletiva e a reciclagem são instrumentos essenciais na implantação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, além de viabilizar a hierarquização no gerenciamento dos resíduos e a inclusão socioeconômica dos catadores. Nesse sentido, a diretriz da PNRS estabelece que a coleta seletiva deve ser considerada nos planos, inclusive em âmbito regional, por meio da criação de instrumentos econômicos para sua viabilização (OLIVEIRA; GALVÃO JUNIOR, 2016). De acordo com o Programa Dê a Mão para o Futuro (DAMF), em 2019 foram recuperadas e destinadas para reciclagem aproximadamente 142 mil toneladas de resíduos (DAMF, 2019). O volume corresponde à coleta de 163 cooperativas em 111 municípios presentes em 21 Estados (DAMF, 2019).

Apesar da simplicidade em reciclar, há na prática uma escassez de informações sobre a coleta seletiva (MOL; OLIVEIRA; BARBOSA, 2018; CHAGAS et al., 2020). Para a implantação e o êxito de um programa de coleta de recicláveis, um dos pontos fundamentais é a definição da rota de coleta que será executada, conhecida como roteirização ou roteamento. O processo de determinação dos roteiros pelo veículo coletor em sua grande maioria é definido pela expertise da equipe coletora, o que nem sempre garante a definição da rota mais viável, o que pode resultar na perda de tempo, combustível e mão de obra (BERNARDO; LIMA, 2017).

A utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para a definição dessas rotas, otimiza a tomada de decisões, possibilitando a avaliação real das áreas a serem percorridas, garantindo um maior retorno para o programa e, por consequência, maiores resultados (GONÇALVES et al., 2019; MORAIS et al., 2019; SINGH, 2019).

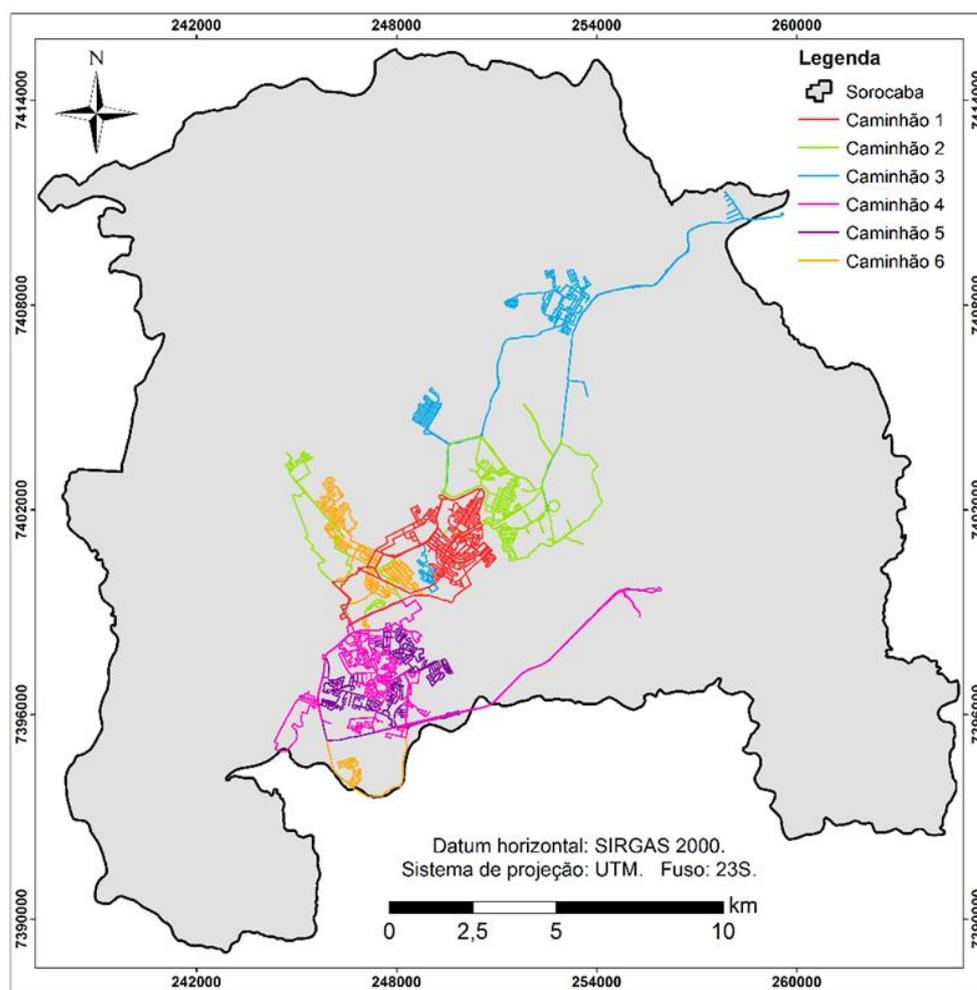
Estudos aplicando SIG na coleta de resíduos demonstram sua colaboração na redução de custos e impactos ambientais, sendo que diversos autores constataram que sua aplicação auxilia no processo de tomada de decisão para investigação dos impactos e custos ambientais dos RSU, na redução do percurso de coleta, transporte e horas trabalhadas e, conseqüentemente, contribuindo na redução do consumo de combustíveis e emissão de poluentes (ABDELLI et al., 2016; BERNARDO; LIMA, 2017; BING et al., 2014; DAS; BHATTACHARYYA, 2015; FERRONATO et al., 2020; GONÇALVES et al., 2020; HATAMLEH et al., 2020; MALAKAHMAD et al., 2014; SILVA et al., 2017; SON; LOUATI, 2016).

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo mapear as rotas de coleta seletiva e identificar oportunidades de melhorias com vistas à otimização das rotas percorridas por coletores de material reciclável no município de Sorocaba (SP), com o auxílio de indicadores quantitativos de material reciclável coletado e geotecnologias.

Mapeamento das rotas junto à cooperativa

Durante a pesquisa, as rotas da cooperativa foram mapeadas e documentadas com vistas à elaboração de um procedimento metodológico que permitisse a continuidade do trabalho, caso alguns de seus cooperados deixassem de trabalhar junto à cooperativa, haja vista que esse procedimento não existia até então, o que tornava a cooperativa bastante fragilizada, uma vez que o conhecimento das rotas era exclusivamente do cooperado. Na Figura 2 é possível observar as rotas mapeadas junto à cooperativa.

Figura 2 - Rotas mapeadas junto à cooperativa no município de Sorocaba.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A coleta do material é realizada por seis equipes compostas por até três cooperados, abrangendo 79 bairros do município de Sorocaba, sendo cada rota de coleta percorrida apenas uma vez por semana de segunda a sexta-feira, das 8h às 17h.

Cada zona de coleta é realizada por um determinado caminhão e grupo de cooperados que conhecem os moradores que participam da coleta seletiva e a rota a ser percorrida, a qual é composta por 10 trechos que são percorridos em cinco dias nos períodos matutinos e vespertinos por caminhão. Entende-se por trecho,

o conjunto de ruas que são percorridas por período matutino ou vespertino ao longo da semana.

Inicialmente, em campo, os itinerários realizados pelos caminhões de coleta de material reciclável foram acompanhados para o mapeamento das rotas com o auxílio de um *Global Positioning System* (GPS) de navegação *Garmim* modelo *Etrex Vista* (Figura 3).

Figura 3 - Acompanhamento das rotas percorridas pelos caminhões para a coleta dos materiais.



Fonte: Acervo pessoal dos autores.

Indicadores quantitativos de material coletado

Com a rota já conhecida e desenhada com o apoio do SIG ArcGIS 10.6, foram obtidos dados relacionados a quantidade de material coletado por rua com auxílio de uma balança eletrônica portátil *Walmur*, e assim, foram gerados os indicadores de quantidade de material coletado por quilômetro (km) rodado de cada trecho (Equação 1).

$$IQT = \frac{QT}{DT} \quad (1)$$

Sendo:

IQT é o Indicador de quantidade material coletado por trecho (kg/km);

QT é a quantidade de material levantado por trecho (em kg);

DT é a distância percorrida por trecho (em km).

O indicador da quantidade de material coletado por quilômetro e por rua (Equação 2), contemplou o número de casas participantes da coleta seletiva por rua, sendo que tais dados foram calculados e armazenados no banco de dados gerado no *software* ArcGIS 10.6 para cada trecho percorrido.

$$IQR = \frac{QR}{DR} \quad (2)$$

Sendo:

IQR é o Indicador de quantidade material coletado por rua (kg/km);

QR é a quantidade de material levantado por rua (em kg);

DR é a distância percorrida por rua (em km).

Após o levantamento desses dados foi determinado o perfil gravimétrico do material recolhido para cada trecho, de cada um dos seis caminhões, tanto para o período matutino quanto vespertino. Para a análise do perfil gravimétrico do material coletado foram amostrados de segunda a sexta-feira (uma semana), um *bag* com volume de 1,5m³ (metro cúbico) por período (matutino e vespertino) de cada trecho das rotas percorridas pelos seis caminhões da cooperativa, totalizando 90m³ de resíduos, sendo realizado esse processo de amostragem por duas semanas consecutivas contando, para tanto, com o auxílio dos cooperados nessa tarefa (Figura 4).

Figura 4 - Separação dos materiais para análise gravimétrica.



Fonte: Acervo pessoal dos autores.

Nesse período de análise do perfil gravimétrico foi calculado o montante que cada trecho recolhe de material no total por semana. De posse desses dados, calculou-se o total de resíduos que cada trecho contribui separadamente por tipo de reciclável por semana através de uma média aritmética simples dos dados amostrados nas duas semanas de amostragem.

O peso médio para cada resíduo reciclável coletado foi utilizado para calcular o quanto de resíduo é coletado por quilômetro rodado dentro de cada trecho, sendo este indicador utilizado para análise da gestão espacial das rotas de coletas de material reciclável. Esses dados foram utilizados para calcular o valor arrecadado por rua em função do preço médio dos materiais separados gravimetricamente (são 27 tipos de materiais recicláveis diferentes e comercializados pela cooperativa - ver documento suplementar), sendo que os

preços médios por quilo de material vendido foram cedidos pela cooperativa para que fosse possível realizar o cálculo do valor (em reais) que cada rua gera para a cooperativa (Equação 3) e, por fim, foi possível calcular qual trecho e zona da cidade tem um descarte mais rentável para os coletores de material reciclável.

$$IR = \sum_{i=1}^n PT_i \times VT_i \quad (3)$$

Sendo:

IR é o indicador do valor (em R\$) gerado pela coleta de material reciclável por rua;

PT_i é a quantidade de cada tipo de material reciclável coletado por rua (em kg);

VT_i é o valor (em R\$) de cada material reciclável coletado.

Esses dados foram adicionados no SIG para análise dos trechos produtivos e improdutivos, a partir de indicadores de desempenho de coleta de material reciclável em conjunto com os outros indicadores calculados. Além disso, foram analisadas as ruas que possuem potencial para ampliar o volume de resíduos coletados em função do número de casas cadastradas pelo número total de casas presentes na rua e, por conseguinte, ter um melhor aproveitamento do trecho, pois existem ruas onde a coleta de material reciclável é alta. O aumento do número de casas cadastradas para coleta tende a aumentar a produtividade da cooperativa, sem a necessidade de aumentar o número de ruas a percorrer.

Para estabelecer as alternativas de otimização das rotas, foram considerados as casas e estabelecimentos participantes da coleta seletiva já cadastrados até o momento, não podendo ser excluídas como forma de otimização da rota, pois o objetivo de uma coleta seletiva é a participação de todos e, também, foi uma solicitação dos cooperados logo no início da proposta de alteração das rotas.

Portanto, para as rotas que estavam abaixo da média de material reciclável coletado (em kg) por distância percorrida (em km), ou ainda, que não atingiam a capacidade total de carregamento de material reciclável do caminhão, foram realizados novos cadastros de participantes da coleta seletiva e a readequação do trajeto percorrido pelos caminhões, visando diminuir o gasto de combustível e aumentar o tempo efetivo da coleta seletiva nas ruas que contribuem com a coleta seletiva, uma vez que há ruas/avenidas que são percorridas devido a necessidade de se chegar a zona coletora.

Ao final da adequação das rotas foi realizada uma análise para verificar o impacto das mudanças em relação à rota antiga comparando-se a distância percorrida (em km), material reciclável coletado (kg) e os possíveis ganhos financeiros (R\$).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos nos levantamentos quantitativos de material reciclável, para cada caminhão, foram dispostos na Tabela 1. Para analisá-los e compará-los,

foram calculados os indicadores de média de kg/km (quilograma de material coletado por quilômetro percorrido), média de kg/rua (quilograma de material coletado por rua percorrida) e média de kg/imóveis (quilograma de material coletado por número de imóveis).

Além disso, o conhecimento acerca da composição gravimétrica dos resíduos coletados está diretamente relacionado ao faturamento da cooperativa, sendo imprescindível a sua análise, uma vez que influi no seu faturamento. Por essa razão, a Tabela 1 também apresenta indicadores da média R\$/km (valor arrecadado por quilômetro percorrido) e média R\$/imóveis (valor arrecadado por imóvel atendido).

Esses valores foram obtidos através da média aritmética dos dados coletados por cada caminhão, de segunda à sexta, nos dois turnos de trabalho, manhã e tarde. Os dados médios da cooperativa referem-se a média dos resultados de todos os caminhões, sendo estes relativos a um período de 4 horas (manhã ou tarde) do dia.

Tabela 1 - Indicadores médios de eficiência de cada caminhão.

Indicadores	Caminhões						Média geral da cooperativa
	1	2	3	4	5	6	
Média de kg/km coletado	49,35	33,76	33,51	70,60	66,71	54,18	52,98
Média de kg/rua coletado	15,48	11,62	13,29	17,30	15,45	14,05	14,56
Média de kg/imóveis	5,99	16,72	4,14	10,10	9,78	5,50	8,65
R\$/km	21,85	14,08	10,73	48,40	18,79	19,23	22,04
R\$/imóveis	2,50	6,81	1,32	6,92	2,85	1,65	3,66
Quantidade (em kg) coletada	1018,91	811,90	998,00	938,00	940,70	804,00	919,56
Rota percorrida (em km)	20,73	24,23	34,78	15,50	14,74	12,43	20,64
Número de imóveis	173	149	244	162	127	165	171

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Tabela 1, apresentam-se, também, os indicadores médios de eficiência obtidos para as rotas de todos os caminhões, de modo que é possível comparar os resultados obtidos pelo trabalho de cada caminhão com os valores médios produzidos pela cooperativa.

Para facilitar a análise e identificar os caminhões que necessitam melhorar seu desempenho em relação à quantidade material coletado em função da distância percorrida, os dados apresentados na Tabela 1 foram reorganizados na Tabela 2, identificando os caminhões que apresentam indicadores superiores e inferiores à média geral.

Tabela 2- Caminhões que apresentam indicadores superiores e inferiores à média geral da cooperativa.

Indicadores gerais	Caminhões	
	Superior à média geral	Inferior à média geral
Média de kg/km coletado	4, 5 e 6	1, 2 e 3
Média de kg/rua coletado	1, 4 e 5	2, 3 e 6
Média de kg/imóveis	2, 4 e 5	1, 3 e 6
R\$/km	4	1, 2, 3, 5 e 6
R\$/estabelecimentos ou casas	2 e 4	1, 3, 5 e 6
Quantidade (em kg) coletada	1, 3, 4 e 5	2 e 6
Rota percorrida (em km)	1, 2, e 3	4, 5 e 6
Número de imóveis	1 e 3	2, 4, 5 e 6

Fonte: Elaborado pelos autores.

Com os dados apresentados é possível inferir que os caminhões 4 e 5 apresentam melhor desempenho quando se trata de indicadores relativos à quantidade de resíduos coletados por quilômetro em relação à média geral da cooperativa, sendo que o caminhão 4 apresenta o melhor resultado quando se trata de capital obtido por quilômetro percorrido (R\$/km). Cabe ressaltar que os caminhões 4 e 5 coletam material reciclável em ruas mais próximas da cooperativa, portanto percorrem menores distâncias e os estabelecimentos/casas contribuem com uma quantidade de material superior aos demais, sendo que as coletas de maior volume são aquelas que ocorrem em condomínios ou em algum ponto fixo de descarte de material reciclável.

Apesar do bom resultado apresentado pelo caminhão 4, verificou-se a possibilidade de aumentar a renda da cooperativa suprimindo uma rua do caminhão 4, visto que essa rua também está presente na rota do caminhão 5, e a adição de outras quatro ruas, totalizando um acréscimo de 80 pontos na coleta. Também nesta rota foi verificada a realização de um percurso de quatro quilômetros apenas para a coleta de 230kg de resíduos em uma das ruas contempladas na rota, recomendando-se a mudança desses pontos para o caminhão 5, e a adição de condomínios residenciais presentes na rua que não estavam inclusos na coleta, mas que fazem parte do percurso.

O caminhão 1 apresenta valor de arrecadação por quilômetro rodado (R\$/km) menor que a média da cooperativa, assim como a quantidade de material coletado por quilômetro percorrido, apesar de apresentar a maior quantidade de resíduos coletados (em kg). Esse efeito pode ser justificado, respectivamente, pelo valor econômico do material predominantemente coletado nas rotas e pela extensão do caminho percorrido. Destaca-se que há presença de rejeitos, ou seja, materiais que não possuem valor de mercado para a cooperativa, misturado ao material reciclável em todo o percurso do caminhão 1.

Nesse sentido, durante a visita *in loco* na cooperativa foi possível verificar que os munícipes encaminham para a coleta seletiva restos orgânicos (como ovos podres, sobras de alimentos), remédios, dejetos de animais, recipientes com gases tóxicos (como gás pimenta), entre outros resíduos, que tornam o ambiente altamente insalubre (Figura 5).

Figura 5 - Materiais não recicláveis coletados durante a análise gravimétrica.



Legenda: a) caixa de ovo com vermes recolhida como material reciclável; b) seringas recolhidas como material reciclável; c) cacos de vidros junto ao material reciclável coletado; d) remédios que foram encontrados junto ao material recolhido.

Fonte: Acervo pessoal dos autores.

É perceptível a falta de sensibilização da população em relação, não somente a questão do descarte de resíduos de forma correta e consciente, mas também quanto a preocupação com a salubridade e exposição dos cooperados a esses resíduos.

A forma como os consumidores descartam os materiais recicláveis é primordial para o aumento da eficiência de triagem dos materiais, pois ações como separar o material orgânico do material reciclável no momento do descarte reduziriam a contaminação dos materiais a serem vendidos pela cooperativa, que, por sua vez, reduziriam os riscos operacionais e de saúde para os cooperados, sendo que esta constatação também foi obtida nos estudos de Santos et al. (2016).

De acordo com o levantamento executado durante esta pesquisa, os cooperados recolhem aproximadamente 5.900kg de material não reciclável por semana, isso equivale a 10,7% do total recolhido semanalmente pela cooperativa. Esse carregamento de lixo representa para a cooperativa uma perda de aproximadamente R\$ 2.625,00 reais por semana, uma vez que o material reciclável deixa de ser recolhido em detrimento do recolhimento de lixo.

Portanto, ações de conscientização junto à comunidade devem ser promovidas de forma progressiva para que um munícipe, acostumado a descartar o seu lixo de forma incorreta, passe a separá-lo corretamente. Conceitos básicos e complexos acerca da responsabilidade ambiental devem ser inseridos de forma gradual na sociedade (SZABÓ JÚNIOR, 2010), sendo a Educação Ambiental a ferramenta fomentadora de ações com o intuito de colaborar na transformação socioambiental (CORREIA; ANDRADE; LIMA, 2016), permitindo que os cidadãos entendam seus papéis nas comunidades em que vivem, o que está alinhado ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU) número 11, que trata de cidades e comunidades sustentáveis.

Assim, a separação de resíduos na sua fonte depende diretamente da sensibilização do ponto de vista ambiental e social a respeito do papel da reciclagem dos resíduos sólidos como meio para diminuir os impactos ambientais e de geração de renda para os cooperados (SANTOS et al., 2016).

Os caminhões 2 e 6 apresentam baixa eficiência em relação a coleta (em kg) de material reciclável, baixo número de imóveis que contribuem com a coleta seletiva e, também, baixa arrecadação financeira com a venda de material reciclável por quilômetro percorrido. Porém, há um ponto importante a ser considerado, pois durante a pesquisa, moradores relataram que algumas vezes não há a coleta dos materiais, gerando acúmulo de resíduos em suas casas, o que desestimula a contribuição dos moradores com a coleta seletiva.

Sendo assim, é necessário que a cooperativa não apenas aumente o número de imóveis atendidos, mas também melhore a sua gestão participativa, possibilitando que os cooperados e moradores da comunidade contribuam com a suas opiniões para a tomada de ações que melhorem o serviço a ser prestado e que haja assiduidade por parte da cooperativa com o recolhimento de material reciclável.

O caminhão 3 é o que mais percorre (em km) e o que possui o maior número de imóveis contribuindo com a coleta seletiva, apresentando a segunda maior coleta, em kg, de material reciclável. No entanto, o indicador de coleta de material por quilômetro percorrido não apresenta um bom resultado devido a elevada distância percorrida. Desse modo, é necessário otimizar a sua rota, uma vez que, durante a análise do percurso realizado, foi verificado que ele percorre rotas que coincidem com a de outros caminhões e/ou percorre uma mesma rota mais de uma vez.

Para avaliar os indicadores de todos os caminhões ao longo da semana e nos diferentes turnos trabalhados, foram analisados os dias e períodos de cada caminhão quanto aos seus indicadores serem superiores ou inferiores à média geral da cooperativa (ver documento suplementar), assim, foi possível identificar quais percursos necessitam melhorar seu desempenho. Diante disso, novas rotas foram sugeridas para os caminhões que pudessem melhorar o desempenho frente aos indicadores utilizados.

A análise revelou que as rotas percorridas pelos caminhões 2, 3 e 6 necessitam de melhorias, pois demonstram índices abaixo da média geral da cooperativa, seja do ponto de vista do indicador de coleta por quilômetro rodado, coleta por rua percorrida ou coleta por imóvel atendido.

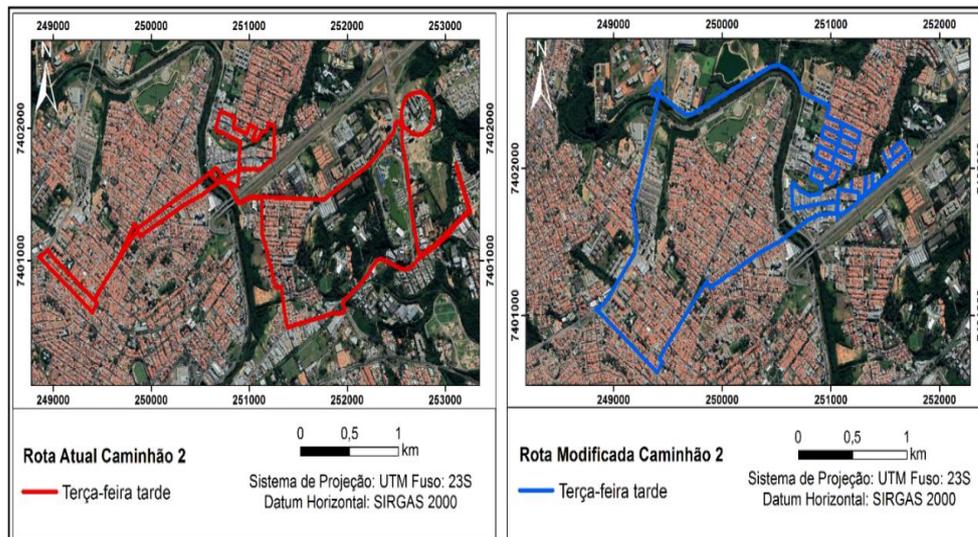
Em relação ao caminhão 2, é possível constatar que todas as rotas percorridas durante a semana apresentam algum déficit em relação à média geral da cooperativa, seja no turno da manhã ou da tarde.

No percurso realizado segunda-feira de manhã pelo caminhão 2, foram identificadas nove ruas que podem contribuir com o acréscimo de 110 novos cadastros de imóveis para a coleta, resultando no aumento de arrecadação para a cooperativa, agregando o valor R\$110,16 à rota, sendo que para atingir a média geral da cooperativa em relação à quantidade de resíduos coletados, é necessário arrecadar mais 23,68 kg de material.

No trecho de terça-feira à tarde, os pontos de coleta são distantes, portanto, recomenda-se o aumento do número de imóveis atendidos para que essa rota apresente um bom indicador. Para o trecho realizado no período da tarde, verificou-se a possibilidade de adicionar novas ruas ao percurso do caminhão 2, como pode ser observado na Figura 6, possibilitando a realização da coleta em 178 novos imóveis, aumentando a arrecadação em aproximadamente R\$ 320,39. Para

esse trecho é necessário a coleta de no mínimo 33,59 kg de resíduos recicláveis, para que se atinja a média geral da cooperativa.

Figura 6 - Sugestão de alteração da rota do caminhão 2 percorrida na terça-feira à tarde.



Fonte: Elaborado pelos autores.

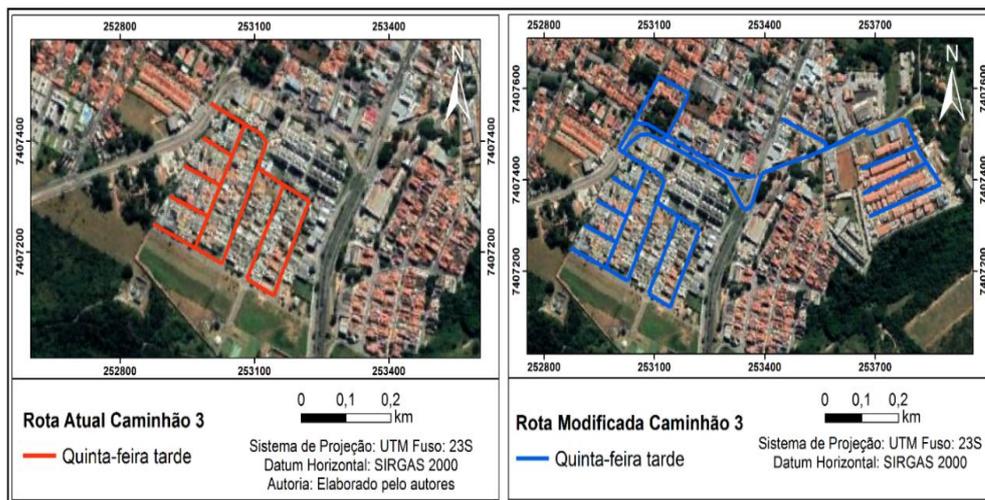
Para o trecho de quinta-feira à tarde, foram transferidas quatro ruas percorridas pelo caminhão 6 para o caminhão 2, além de verificar que, para melhorar o desempenho do caminhão 2, são necessários 84 novos cadastrados e a coleta de mais de 21 kg de resíduos recicláveis, para uma arrecadação de R\$ 71,89.

Observou-se que na coleta realizada na prefeitura municipal de Sorocaba, os cooperados perdem tempo separando os materiais *in loco*, pois não há separação correta dos resíduos, portanto, para facilitar e agilizar esse processo, é necessário que a prefeitura municipal adeque o seu modo de segregar o lixo. Nessa mesma rota, a coleta na Fábrica de Óleo pode ser feita de 15 em 15 dias, já que foi verificado que é possível o armazenamento correto e seguro do resíduo sem que haja acúmulo de material.

Quanto ao caminhão 3, verificou-se que as rotas de segunda-feira no período da manhã necessitam aumentar a quantidade coletada em no mínimo 10,59 kg e a quantidade de pontos de coleta em mais três casas e estabelecimentos, agregando mais R\$3,38 na arrecadação. Já no período da tarde é necessário aumentar a quantidade coletada em mais 93,93 kg e a quantidade de pontos de coleta em mais 23 imóveis, agregando mais R\$29,99 na arrecadação.

Nos trechos percorridos às terças-feiras e quartas-feiras no período da tarde, verificou-se que o caminhão 3 percorre ruas em que não há imóveis atendidos pela coleta, portanto, para aumentar a arrecadação nesses trechos não é necessário alterá-los, mas sim realizar o cadastro de novos imóveis nas ruas já percorridas, sendo possível a inscrição de 37 novos estabelecimentos, possibilitando a coleta de aproximadamente 125,24 kg de resíduos e gerando a renda de R\$ 40,22. Já para o percurso de quinta-feira à tarde, é necessário acrescentar novas ruas ao trecho percorrido, ampliando o atendimento aos domicílios próximos das ruas que atualmente já possuem a coleta realizada (Figura 7).

Figura 7 - Sugestão de alteração da rota do caminhão 3 realizada quinta-feira à tarde.

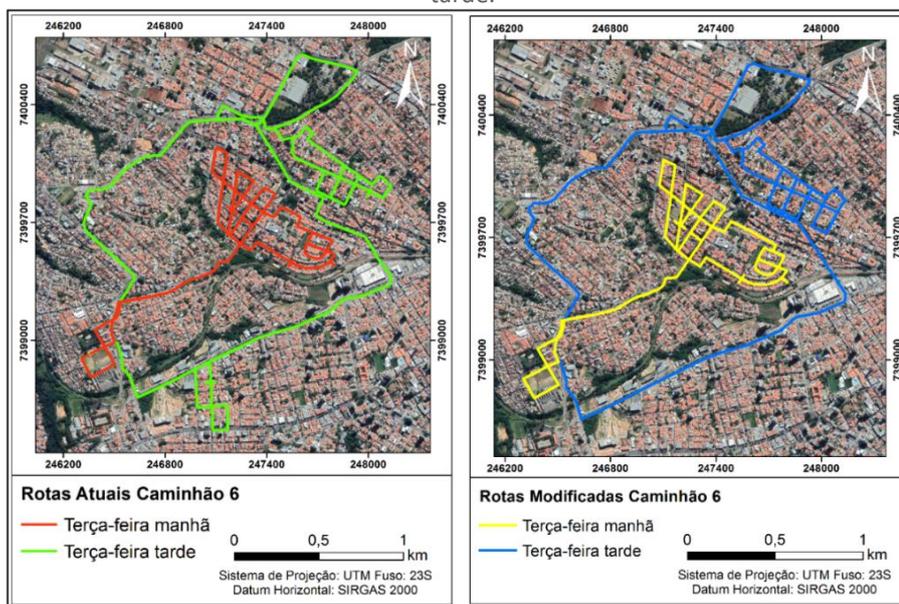


Fonte: Elaborado pelos autores.

Para a rota demonstrada na Figura 7, é possível ampliar o atendimento cadastrando 75 novos imóveis, atendendo estabelecimentos em pequenos loteamentos e condomínios que já possuem a coleta, mas onde há casas que não contribuem com a entrega dos resíduos aos cooperados e, também, adicionando novas ruas ao trecho percorrido é possível ampliar a arrecadação em 300,87 kg de resíduos, resultando em R\$96,52.

Já para o caminhão 6, sugeriu-se alterações em quatro ruas percorridas às terças feiras, nos períodos da manhã e da tarde, porém, como pode ser observado na Figura 8, as mudanças não se referem a grandes alterações nas rotas percorridas, mas sim ao aumento de cadastro de imóveis em ruas já possuem a coleta seletiva.

Figura 8 - Sugestão de alteração da rota do caminhão 6 realizada terça-feira de manhã e tarde.



Fonte: Elaborado pelos autores.

No trecho de terça-feira à tarde foram transferidas quatro ruas e 27 pontos de coleta do caminhão 6 para o caminhão 2, de modo que, para compensar essa alteração, foram identificadas duas novas ruas que podem ajudar a aumentar a quantidade coletada em 33,72 kg e a quantidade de pontos de coleta em mais oito estabelecimentos, agregando mais R\$10,32 na arrecadação da cooperativa.

Para o trecho percorrido na sexta-feira à tarde foram remanejadas duas ruas para terça-feira (manhã e tarde), pois após realizar a coleta nessas ruas, o caminhão 6, se dirige a um bairro que já é atendido às terças. Para compensar os pontos de coleta transferidos ao outro trecho, é possível acrescentar 16 novos pontos de coletas (casas) em outras três ruas percorridas pelo caminhão, sendo que o caminhão necessita aumentar a quantidade coletada em 43,99 kg para agregar mais R\$11,82 para a cooperativa, e assim melhorar o desempenho de coleta de material e financeiro.

Com as alterações propostas, espera-se aumentar a quantidade de material coletado, número de imóveis atendidos e ampliar a geração de renda para a cooperativa. Além desses benefícios, o planejamento prévio das rotas a serem realizadas é importante para a consolidação da rota, fidelização dos munícipes e, conseqüentemente, no melhoramento dos serviços prestados pela cooperativa, uma vez que foi identificado que alguns munícipes não participavam a longo prazo da coleta seletiva por não haver uma data e horário fixo da coleta em sua região e, em alguns casos, pelo fato da coleta de material ficar suspensa por algum período sem aviso prévio.

Para melhorar a renda distribuída entre os cooperados muitas cidades brasileiras, como Sorocaba, criaram cooperativas de coletores de resíduos recicláveis, no entanto, a criação dessas cooperativas é complexa, pois muitas vezes a mão de obra é composta por “carrinheiros” que encontram dificuldades de adaptação no cumprimento de horários, metas e inclusive no relacionamento interpessoal, uma vez que estes possuem autonomia e controle próprio de produção (FRANÇA et al., 2017). Assim, mudanças drásticas nos trajetos percorridos ou a automatização de um método para a geração de novas rotas não foram possíveis nessa pesquisa, pois os cooperados relataram estar familiarizados com as rotas já existentes e com as famílias atendidas pela coleta seletiva.

As constantes entradas e saídas de trabalhadores na cooperativa foram observadas em nosso estudo como uma das barreiras para a implementação das novas rotas, uma vez que não há ferramentas de gestão visual para que os cooperados tenham conhecimento dos trechos a serem percorridos, sendo de responsabilidade do cooperado líder memorizar as rotas correspondentes de cada caminhão.

Santos et al. (2016) também identificaram na cooperativa Coreso uma alta rotatividade entre os trabalhadores, verificando que alguns cooperados permaneciam na cooperativa por apenas alguns dias ou meses. A desvalorização do ofício desses trabalhadores pode justificar essa alta rotatividade nas cooperativas (FRANÇA et al., 2017).

Um fator determinante para um bom planejamento e execução dos serviços de coleta seletiva é a participação da população no processo, assim, a ausência de ações de mobilização e divulgação continuada de informações à população é um dos fatores que mais contribuem para a baixa adesão dos cidadãos (BRINGHENTI; GUNTHER, 2011; GIL et al., 2019).

Portanto, como ferramenta de gestão à vista, sugere-se que as rotas propostas possam ser expostas em mídia digital aos cooperados, contendo informações sobre os bairros percorridos e os dias de coleta e, futuramente, essas rotas podem ser disponibilizadas em plataformas digitais, contendo informações dos percursos dos caminhões em tempo real para os moradores, para que haja maior facilidade de comunicação entre cooperativa e comunidade, pois muitos municípios não têm conhecimento da existência da coleta seletiva, estando alinhado ao conceito de cidades inteligentes.

Diante do exposto, é essencial a participação do poder público no sentido de conscientizar a comunidade e, também, desenvolver parcerias com as cooperativas, de maneira que haja um suporte para a realização da atividade, conforme também constatado por Santos et al. (2016). O planejamento adequado visando a otimização de recursos, eficiência e qualidade na prestação de serviços são fundamentais para a implementação e manutenção dos programas de coleta seletiva (ÁVILA; GIL, 2019).

O estudo demonstra que, com as alterações propostas, a cooperativa poderia realizar o cadastro de 534 novos imóveis, que conseqüentemente, aumentaria a quantidade coletada de resíduos sólidos urbanos recicláveis, em 686,74 kg/semana e 2.746,96 kg/mês, mas, devido ao baixo valor agregado por tipo de material reciclável, o valor arrecadado a mais pela cooperativa seria de aproximadamente R\$ 694,69/semana e R\$ 2.777,96/mês, representando cerca de R\$ 5,20 de acréscimo para cada novo imóvel cadastrado. Entretanto, todos moradores devem colaborar com as coletas toda semana ao longo de um mês, do contrário, a arrecadação monetária será ainda menor que R\$ 5,20.

Contudo, a arrecadação não é suficiente para manter a cooperativa, sendo imprescindível que a Prefeitura Municipal de Sorocaba forneça a assistência necessária à cooperativa, possibilitando que ela otimize a sua prestação de serviço, amplie o seu atendimento e mantenha os salários dos cooperados em dia, uma vez que a cooperativa desempenha um papel socioambiental de extrema importância, justificando os incentivos financeiros alocados para esse tipo de organização.

Todavia, o uso de geoprocessamento apoiado em ambiente SIG foi essencial para o desenvolvimento deste estudo. Nesse sentido, outros trabalhos também demonstram o eficiente uso do geoprocessamento para otimização de rotas para a coleta seletiva, tais como o de Bernardo e Lima (2017), que utilizaram o SIG para realizar o planejamento e implantação de um programa de coleta seletiva em São Lourenço (MG), permitindo uma melhor gestão dos serviços prestados pela cooperativa estudada e com participação dos cooperados no processo de elaboração das rotas, de modo que a rota seja conhecida por todos cooperados, população e tenha caráter atemporal, resultando numa participação massiva população da cidade na coleta de resíduos recicláveis.

Gonçalves et al. (2019), a fim de auxiliar na gestão da rota de coleta seletiva de uma cooperativa localizada em Tagará da Serra (MT), identificaram que a atual rota percorrida necessitava de um planejamento específico para melhorar a eficiência de captação de resíduos e evitar erros de agendamento, pois os moradores não sabiam exatamente quando o seu resíduo seria retirado, portanto, os autores concluíram que a cooperativa estudada necessitava de um modelo de gestão implementado e uma roteirização eficiente.

Com a ampliação de imóveis atendidos, através das alterações propostas, a cooperativa e os cooperados serão beneficiados pela venda dos resíduos recicláveis coletados, além de contribuir com a minimização de impactos ambientais e a sobrecarga de aterros.

Essa proposta vai muito além dos benefícios econômicos à cooperativa, pois reduz os resíduos sólidos direcionados ao aterro sanitário privado de Iperó, cidade vizinha que recebe os resíduos do município de Sorocaba, estando em consonância com a Lei 12.305/2010 que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Além disso, diminuiria os custos da Prefeitura de Sorocaba que aprovou cerca de R\$ 26,833 milhões do seu orçamento previsto em 2020 para o transporte e disposição de lixo receberem destinação adequada pelo período de um ano (PMS, 2019). Uma das formas de mudar esse quadro atual é trabalhar a coleta seletiva e o conceito de reciclagem no município de forma mais intensa e organizada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo permitiu uma avaliação geral do roteiro atual da cooperativa, identificando potenciais novos pontos de cadastro, inclusão de novas ruas aos trechos para o melhor aproveitamento do percurso e remanejamento de ruas entre os caminhões para otimização dos trechos percorridos, favorecendo o acréscimo na coleta de 2.746,96 kg/mês de resíduos recicláveis, e na arrecadação de R\$ 2.777,96/mês.

A utilização do SIG como ferramenta de análise espacial permitiu integrar as informações do dia a dia da cooperativa e melhorar sua gestão comunicativa, uma vez que, ao determinar as rotas a serem percorridas, estas não serão modificadas constantemente em virtude da alta rotatividade de cooperados e a adesão da população à coleta tenderá a ser maximizada.

Contudo, a conscientização e a participação da população são essenciais para facilitar o trabalho dos cooperados, visto que o simples ato de separar os resíduos não recicláveis dos recicláveis reduz o tempo de separação dos materiais pelos trabalhadores, otimizando o tempo de trabalho durante a coleta e reduzindo os riscos operacionais pelos quais os cooperados ficam expostos diariamente.

Por fim, é importante ressaltar junto aos munícipes que grande parte dos resíduos gerados pelas atividades humanas possui valor comercial e que devemos adotar uma nova postura e começar a ver o lixo como matéria-prima potencial, mostrando a importância da reciclagem e orientando-os para a separação correta dos materiais. Assim, a população poderá entender o seu papel nesse processo, possibilitando a construção de valores sociais e competências voltadas para um ambiente mais sustentável.

Spatial management of recyclable material collection routes with GIS support and productivity indicators

ABSTRACT

Increased production of municipal solid waste is a recurring problem for public managers, studies are needed that contemplates its management and methodologies to optimize collection routes. Therefore, this study aims to map the selective collection routes and identify opportunities for improvement through quantitative indicators of collected material and geotechnologies. Therefore, a survey was made of the amount of recyclable material collected per stretch travelled, analysed route performance, proposed minimizing unproductive routes, and suggested new routes with high potential of recyclable material collection. Results showed that the route management provided an increase of 2.75 tons per month of recyclable waste and a collection of R\$ 2,777.96/month evidencing the importance of spatial analysis as a solid waste management tool for recycling cooperatives.

KEYWORDS: Geoprocessing. Cooperative. Solid waste. Selective collection.

REFERÊNCIAS

ABDELLI, I.S.; ABDELMALEK, F.; DJELLOUL, A.; MESGHOUNI, K.; ADDOU, A. GIS-based approach for optimised collection of household waste in Mostaganem city (Western Algeria). **Waste Management & Research**, v. 34, n. 5, p. 417–426, 2016.

ÁVILA, G. M.; GIL, M. L. Estudo comparativo dos meios de transporte utilizados na coleta seletiva. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 9, p. 14327-14344, 2019.

BERNARDO, M.; LIMA, R. S. Planejamento e implantação de um programa de coleta seletiva: utilização de um sistema de informação geográfica na elaboração das rotas. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 9, supl. 1, p. 385-395, 2017.

BING, X.; DE KEIZER, M.; BLOEMHOF-RUWAARD, J. M.; VAN DER VORST, J. G. A. J. Vehicle routing for the eco-efficient collection of household plastic waste. **Waste Management**, v. 34, p. 719–729, 2014.

BRASIL. 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**: seção 1, Brasília, DF, 3 de agosto de 2010, p. 2.

BRINGHENTI, J. R.; GUNTHER, W. M. R. 2011. Participação social em programas de coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 421-430, 2011.

CHAGAS, A. L. B.; ALVES, E. R.; COELHO, F. M. A.; RABELO, M. G.; AMARO, R. C. R.; ARAÚJO, S. S. S.; BASTOS, J. B. S. Diagnóstico da coleta de resíduos sólidos recicláveis no município de Morada Nova-CE. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 298-319, 2020.

CORREIA, J. N.; ANDRADE, C. A. F.; LIMA, N. B. Lixo e reciclagem: a percepção ambiental de estudantes de escolas públicas e privadas do município de Bom Jesus do Itabapoana (RJ). **Perspectiva Online: Humanas sociais & Aplicadas**, v. 15, n. 6, p. 53-65, 2016.

DAMF. Programa Dê a Mão para o Futuro. **Relatório DAMF, 2019**. Disponível em: < <http://maoparaofuturo.org.br/publicacoes/>>. Acesso em: 30 jun. 2020.

DAS, S.; BHATTACHARYYA, B. K. Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes. **Waste Management**, v. 43, p. 9–18, 2015.

FERRONATO, N.; PREZIOSI, G.; PORTILLO, M. A. G.; LIZARAZU, E. G. G.; TORRETTA, V. Assessment of municipal solid waste selective collection scenarios with

geographic information systems in Bolivia. **Waste Management**, v. 102, p. 919-931, 2020.

FRANÇA, J. F.; SILVA, D. C. C.; HASEGAWA, H. L.; OLIVEIRA, R. A. Análise socioeconômica de catadores de materiais recicláveis do município de Sorocaba (SP). **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 550-565, 2017.

GIL, M. L.; DE ALMEIDA, M. P.; ANDRADE, C. D.; MELLO, S. L. DE M.; ÁVILA, G. M.; FONSECA, E. M. Territorialidade da coleta seletiva de resíduos sólidos: estudo de caso na cidade do Rio de Janeiro como subsídio à gestão pública. **Sistemas & Gestão**, v. 14, p. 356-369, 2019.

GONÇALVES, A. N.; MELO, S. A. B. X.; SÁ, S. T. F.; MELO, A. X.; LEMES, R. A. Análise da rota da coleta seletiva dos RSUS da Coopertan em Tangará da Serra – MT. **South American Development Society Journal**, v. 5, n. 14, p. 376-405, 2019.

GONÇALVES, C. S.; NAZARI, M. T.; PAZ, M. F.; LEANDRO, D.; CORRÊA, E. K.; CORRÊA, L. B. Mapeamento de fontes geradoras de resíduos de serviços de saúde através da utilização de SIG. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 17-27, 2020.

HATAMLEH, R. I.; JAMHAWI, M. M.; AL-KOFAHI, S. D.; HIJAZI, H. The use of a GIS system as a decision support tool for municipal solid waste management planning: The case study of Al Nuzha District, Irbid, Jordan. **Procedia Manufacturing**, v. 44, p. 189-196, 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades: Sorocaba – População estimada, 2019.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sorocaba/panorama>>. Acesso em: 30 mai. 2020.

LOURENÇO, R. W.; SILVA, D. C. C.; SALES, J. C. A.; MEDEIROS, G. A.; OTERO, R. A. P. Metodologia para seleção de áreas aptas à instalação de aterros sanitários consorciados utilizando SIG. **Ciência e Natura**, v. 37, p. 122-140, 2015.

MALAKAHMAD, A.; BAKRI, P. M.; MOKHTAR, M. R. M.; KHALIL, N. Solid Waste Collection Routes Optimization via GIS Techniques in Ipoh City, Malaysia. **Procedia Engineering**, v. 77, p. 20–27, 2014.

MOL, M. P. G.; OLIVEIRA, H. B. R.; BARBOSA, F. C. L. Efetividade da segregação de resíduos visando à coleta seletiva – estudo de caso em uma instituição pública. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 259-272, 2018.

MORAIS, L. A.; NASCIMENTO, V. F.; GUASSELLI, L. A.; OMETTO, J. P. B. Estimativas das Distâncias para Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 71, n. 4, p. 960-982, 2019.

OLIVEIRA, T. B.; GALVÃO JUNIOR, A. C. Planejamento municipal na gestão dos resíduos sólidos urbanos e na organização da coleta seletiva. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, p.55-64, 2016.

PMS. Prefeitura Municipal de Sorocaba. **Coleta Seletiva, 2020**. Disponível em: <<https://meioambiente.sorocaba.sp.gov.br/educacaoambiental/coleta-seletiva/>>. Acesso em: 30 mai. 2020.

PMS. Prefeitura Municipal de Sorocaba. **Secretaria de saneamento detalha orçamento para 2020, 2019**. Disponível em: <<http://www.camarasorocaba.sp.gov.br/newsitem.html?id=5e3f2b8c54d943117eea61f9>>. Acesso em: 30 nov. 2019.

SANTOS, F. F.; FONTES, A. R. M.; MORIS, V. A. S.; SOUZA, R. L. R. Atores da cadeia de reciclagem: Influência e impactos na atividade de triagem de materiais em uma cooperativa de Sorocaba-SP. **Revista de Gestão Social e Ambiental - RGSA**, v. 10, n. 3, p. 85-101, 2016.

SILVA, D. C. C.; OLIVEIRA, V. N.; DOMINATO, V. D.; VENANZI, D. Aplicação de técnicas de análise espacial para otimização das rotas de coleta de material reciclável no município de Sorocaba - SP. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, p. 1812-1828, 2017.

SINGH, A. Remote sensing and GIS applications for municipal waste management. **Journal of Environmental Management**, v. 243, p. 22-29, 2019.

SON, L. H.; LOUATI, A. Modeling municipal solid waste collection: A generalized vehicle routing model with multiple transfer stations, gather sites and inhomogeneous vehicles in time windows. **Waste Management**, v. 52, p. 34-49, 2016.

SZABÓ JÚNIOR, A. M. **Educação ambiental e gestão de resíduos**. São Paulo: Rideel, 2010. 118p.

Recebido: 01/04/2022

Aprovado: 30/11/2022

DOI: 10.3895/rts.v19n55.15340

Como citar: SILVA, D.C.C. et al. Gestão espacial das rotas de coleta de material reciclável com suporte de SIG e indicadores de produtividade. **Rev. Technol. Soc.**, Curitiba, v. 19, n. 55, p.366-386 jan./mar., 2023. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/15340>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

