



Estudo comparativo dos meios de transporte utilizados na coleta seletiva

Comparative study of means of transport used in selective collection

Estudio comparativo de los medios de transporte utilizados en la recolección selectiva

Moises Leão Gil

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Programa de Engenharia Urbana
moisesgil@poli.ufrj.br

Giovani Manso Avila

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Programa de Engenharia Urbana



RESUMO

Este artigo visa analisar a eficiência econômica e ambiental e os impactos no tráfego urbano de modelos de coleta e transporte de materiais recicláveis porta-a-porta, por meio de um estudo comparativo entre três modelos em execução no Brasil, a saber: caminhão compactador, caminhão baú e veículo de motor à combustão não tripulado, associado a um ponto de apoio. Esta análise é importante para dar subsídio para à tomada de decisão por parte dos órgãos e instituições responsáveis pela gestão de resíduos sólidos municipais e no planejamento do melhor meio de transporte para este fim, de acordo com as características locais. O trabalho corrobora com a tese de que o planejamento adequado para a otimização de recursos, eficiência e qualidade na prestação de serviços é fundamental para a implementação e manutenção dos programas de coleta seletiva, tendo em vista o atendimento à Política Nacional dos Resíduos Sólidos.

Palavras-chave: Transporte, Veículos, Resíduos Sólidos, Coleta Seletiva.

ABSTRACT

This article aims to analyze the economic and environmental efficiency and impacts on urban traffic models for collection and transportation of recyclable materials door-to-door, through a comparative study of three models running in Brazil, namely: truck compactor, box truck and motor vehicle combustion, unmanned, associated with a point of support. This study is important to give subsidy for decision making by the bodies responsible for managing municipal solid waste and planning the best model of transport for this purpose, according to the local characteristics. The work confirms the thesis that proper planning for resource optimization, efficiency and quality in service delivery is a key activity to the implementation and maintenance of selective collection programs, in a way to keep compliance with the National Policy on Solid Waste.

Key words: Transport, Vehicles, Solid Waste, Selective Collect.

RESUMEN

Este artículo tiene como objetivo, analizar la eficiencia económica y ambiental y los impactos en el tráfico urbano de modelos de recolección y transporte de materiales reciclables puerta a puerta, a través de un estudio comparativo de tres modelos que se ejecutan en Brasil, tales como: camión compactador, camión sin compactador y vehículo de motor de combustión no tripulado, asociado a un punto de apoyo. Este análisis es importante para dar subsidio para en la toma de decisiones de los organismos e instituciones responsables de la gestión de residuos sólidos urbanos y en la planificación de los mejores medios de transporte para este fin, de acuerdo a las características locales. El estudio corrobora la tesis de que una planificación adecuada para la optimización de recursos, la eficiencia y la calidad en la prestación de servicios, es clave para la implantación y mantenimiento de programas de recolección selectiva, con miras al cumplimiento de la Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Palabras clave: Transporte, Vehículo, Resíduos Sólidos, recolección selectiva.



INTRODUÇÃO

Com o crescente aumento populacional, resultado da vida em comunidade, e a voraz ocupação dos espaços, evidenciado de forma desenfreada a partir do século XVIII com a revolução industrial, afloram um dos mais graves problemas ambientais: o aumento constante de resíduos sólidos nas cidades. Tomando como base esta premissa, pode-se ter o lixo como um dos mais antigos focos abordados em trabalhos de natureza social, econômica e ambiental.

A concentração de geração desses resíduos ocorre principalmente nas áreas urbanas, agravando-se e alcançando até mesmo proporções dramáticas nas grandes metrópoles, onde é alta a concentração populacional, e de consumo.

A problemática do lixo urbano decorreu da associação entre a precária ou total inexistência de infraestruturas adequadas às cidades e à falta de consciência ecológica, conduzindo a um quadro de caos (SILVA *et al*, 2001).

Dentro do saneamento básico, que é composto pelos sistemas de abastecimento de água, de esgotamento sanitário, de manejo de águas pluviais e de resíduos sólidos, estabeleceu-se uma prioridade, dando-se uma importância maior aos sistemas de abastecimento de água, relegando a segundo plano o sistema de coleta e tratamento dos esgotos urbanos, seguido da limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos e do manejo das águas pluviais urbanas.

Os problemas ocasionados pela disposição inadequada de resíduos sólidos estão relacionados a poluição visual, poluição de corpos d'água e águas subterrâneas, poluição atmosférica, degradação de ecossistemas, doenças relacionadas à saúde pública, entupimento de galerias de escoamento pluvial e problemas de ordem social.

No Brasil, o crescimento populacional desenfreado acarretou também num aumento de mão de obra, porém, sem postos de trabalhos suficientes para suprir esta demanda, expondo às pessoas desempregadas a situações desumanas, encontrando no lixo uma forma de sustento próprio e de suas famílias (MARTINS, *et al.*, 2004).

Essa questão torna imprescindível pautar o tema, tanto no âmbito legislativo quanto das políticas públicas. Brighenti (2004) atenta para o fato da destinação dos resíduos sólidos, significar uma ameaça à saúde pública e ao meio ambiente. Nesse sentido, faz-se necessário um bom planejamento para seu gerenciamento, com base nos conhecimentos em engenharia sanitária, economia, administração, e demais áreas afins, utilizando técnicas mais adequadas de manejo e evitando custos elevados que inviabilizem a sua execução.

Dessa maneira, o presente estudo pretende relacionar a infraestrutura de transporte adequada na coleta seletiva, às características de cada cidade, através da comparação dos custos envolvidos, capacidade e abrangência de cada uma das infraestruturas analisadas.

RECICLAGEM E COLETA SELETIVA

Quadros de crise financeira e a limitação de recursos naturais, associados ao prejuízo ao meio ambiente e à saúde pública, devido à disposição inadequada dos resíduos, fizeram com que a sociedade se conscientizasse quanto a necessidade da reciclagem. Com isso, o retorno dos resíduos recicláveis à cadeia produtiva como matéria-prima para a produção de novos produtos estabeleceu-se por necessidades



eventuais, como em épocas de crise e escassez, vivenciadas durante as duas últimas grandes guerras (WELLS, 1995 *apud* PERIOTTO, 2013).

Assim, os primeiros registros de programas de coleta seletiva e reciclagem são datados no período da segunda guerra mundial, onde países europeus e os Estados Unidos faziam campanha para que a população destinasse as sucatas metálicas e de papel para reciclagem, afim de abastecer a indústria bélica de matéria prima (SANTOS, 1995 *apud* RIBEIRO, 2000).

Martins (2002), *apud* Besen (2006), aponta que nos países desenvolvidos a gestão dos resíduos sólidos passou por 3 momentos específicos: o primeiro, durante os anos 70, centrado na destinação final; o segundo, durante os anos 80, na redução e reciclagem; e o terceiro, depois da década de 90, com o estabelecimento de leis e normas para a implantação da coleta seletiva, reciclagem e aproveitamento energético.

No Brasil, com o advento da lei 12.305/2010, Política Nacional dos Resíduos Sólidos, todos os municípios da federação ficam obrigados a encerrar seus lixões e destinar os seus resíduos, que não forem passíveis de reciclagem, para aterros sanitários. A lei também prevê a implantação e expansão progressiva da coleta seletiva solidária municipal com a participação de organizações de catadores de materiais recicláveis. A coleta seletiva solidária é um instrumento de gestão ambiental que deve ser implementado visando à recuperação de material reciclável para fins de reciclagem (BRASIL, 2010).

A coleta seletiva é uma forma de minimizar os impactos causados pela geração desenfreada de resíduos sólidos, uma vez que, a parcela dos resíduos sólidos passíveis de reciclagem são segregados diretamente na fonte e em seguida são encaminhados para centrais de triagem onde é feita uma separação mais minuciosa por composição química e cor, depois são compactados, estocados e comercializados para as indústrias recicladoras, onde são novamente reinseridos na cadeia produtiva, reduzindo os custos com sua disposição em aterros, extração de matéria-prima e mitigando os impactos ambientais causados pela ausência de um gerenciamento eficaz dos resíduos sólidos.

Segundo Ribeiro e Besen (2011), a coleta seletiva desempenha uma função fundamental na gestão integrada dos resíduos sólidos sob diversos modos: promove a prática da segregação dos resíduos sólidos diretamente no gerador para posterior aproveitamento, fomenta a prática de ações de redução de consumo e desperdício através da educação ambiental, promove a inclusão socioeconômica de catadores de materiais recicláveis e propicia um melhor resíduo orgânico para a compostagem.

Para Cunha e Caixeta Filho (2002), a operação da coleta de resíduos inicia-se com a saída do veículo da garagem, seguido do deslocamento até roteiro de coleta, abrangendo todo o trajeto gasto na viagem para remoção dos resíduos dos pontos de coleta, transporte até transbordos e/ou destino final (usinas de triagens, aterros, cooperativas de catadores), até o retorno ao ponto de partida.

Contudo, um dos principais gargalos para que a reciclagem se torne eficiente é a etapa de coleta dos materiais recicláveis. Devido ao planejamento inadequado por parte do poder público e ao fato dos materiais recicláveis possuírem um volume elevado em relação ao seu peso, muitas vezes a coleta acaba não sendo economicamente viável.

Grimberg e Blauth (1998) apontam que no Brasil existem duas modalidades básicas de coleta seletiva: a de porta-a-porta, onde agentes de limpeza e/ou agentes ambientais percorrem as ruas juntamente com o veículo coletor, recolhendo os materiais recicláveis previamente separados e dispostos na frente dos domicílios e estabelecimentos comerciais; e os Pontos de Entrega Voluntária (PEV's), no qual a população se desloca até locais estrategicamente definidos para dispor o material segregado em casa. Entretanto, os mesmos autores observam que é difícil de mensurar a adesão da comunidade à coleta seletiva através dos



PEV's, bem como o risco de vandalismo que pode apresentar-se desde o depósito de lixo orgânico e/ou animais mortos nos coletores até na danificação e destruição dos mesmos.

Quanto a coleta seletiva porta-a-porta, embora necessite de maior infraestrutura e apresente custos mais elevados para coleta e transporte, proporciona uma maior comodidade à população, que resulta numa maior participação da sociedade nos programas de coleta seletiva, além de possibilitar um melhor controle e fiscalização por parte dos órgãos responsáveis pela execução do serviço, permitindo a tomada de medidas específicas para que se tenha uma maior participação popular (GRIMBERG e BLAUTH, 1998).

OBJETIVOS

O presente artigo visa avaliar a eficiência econômica, ambiental e impactos no tráfego urbano, de modelos de coleta e transporte de materiais recicláveis porta-a-porta através de um estudo comparativo de três modelos em execução no Brasil, a saber: caminhão compactador, caminhão baú e veículo de motor de combustão não tripulado associado a um ponto de apoio. Este último modelo, que tem como base o veículo de motor de combustão não tripulado associado a um ponto de apoio vem sendo utilizado recentemente por cidades de pequeno, médio porte e grande porte, a exemplo do município de Caetité/BA, Jacobina/BA, João Monlevade/MG e Belo Horizonte/MG.

BRASIL E A COLETA SELETIVA

A coleta seletiva ainda é tema recente no Brasil, sendo a maior parte das iniciativas e ações nesse sentido, ainda informais, realizadas por organizações de catadores de materiais recicláveis. No país tem-se apenas 16,66% dos 5.561 municípios operando programas de coleta seletiva, o que corresponde a 927 experiências implantadas e em funcionamento, conforme demonstra uma pesquisa sobre o tema, desenvolvida pelo Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE, 2014).

O Ministério das Cidades, através do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), divulga anualmente o "Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos", que em sua décima terceira edição referente ao ano de 2014, aponta que de um total de 3.765 municípios pesquisados, 1.322 informaram realizar qualquer tipo de coleta seletiva, seja por PEV ou porta-a-porta. Contudo, não foi feita uma avaliação da abrangência da coleta seletiva nesses municípios, podendo ser apenas em uma localidade, em parte do município, ou em toda a cidade. Destes 1.322 municípios, 1.178 disseram que realizam a coleta seletiva porta-a-porta, atendendo a um total de 52 milhões de habitantes, valor bem superior ao apresentado pelo CEMPRE (2014), que apresentou a quantidade de 28 milhões de pessoas atendidas com coleta seletiva no país.

VEÍCULOS UTILIZADOS

A coleta seletiva pode ser realizada com o uso de diversos equipamentos, desde veículos de tração animal/humana, passando por caminhões de carroceria aberta e compactadores, estes capazes de diminuir o volume inicial dos resíduos em um terço (Roth *et al.*, 1999). A ABNT(1993), através da NBR 12980, apresenta 2 desses veículos: Caminhões com carroceria sem compactação, que se tratam de carrocerias retangulares metálicas com abertura traseira e/ou lateral e sua descarga ocorre por basculamento; e Caminhão com compactador, que são veículos com carroceria fechada, dotados de elementos mecânicos

que possibilitam a compactação do material em seu interior, sendo que sua descarga pode ser feita por ejeção ou basculamento.

Recentemente, novas tecnologias vêm sendo desenvolvidas visando reduzir impactos no tráfego e no meio ambiente, diminuir custos e otimizar o processo da coleta seletiva de materiais recicláveis. Em 2007, através do programa de energias renováveis da Usina Hidroelétrica Itaipu Binacional - ITAIPU, foi lançado um veículo elétrico não tripulado para coleta seletiva movido a puxão, com capacidade para até 1000 kg e baixa velocidade de operação, alcançando até 8 km.h⁻¹ (LAZZARI, 2010). Contudo, apesar de apresentar autonomia de 30 km com a carga completa, o veículo não foi muito bem aceito por organizações de catadores que pela experiência de uso, alegaram que o veículo vai perdendo potência no final da carga, acabando por completo antes de chegar à base novamente, causando grandes dificuldades para sua locomoção, pois vazio, o mesmo pesa em torno de 400 kg e não existem pontos para reabastecimento com facilidade.

Por volta de 2009, a empresa TECSCAN, sediada em Minas Gerais, criou o “Coletortec”. Trata-se de um veículo de motor de combustão não tripulado movido a gasolina, com gaiola de carga com capacidade de aproximadamente 3 m³ e até 500 kg. A velocidade desse veículo é de 4 e 6 km.h⁻¹ (velocidade média de uma pessoa comum andando) e autonomia média de 30 km.l⁻¹ (TECSCAN, 2017). A possibilidade de abastecimento com gasolina acabou sendo um diferencial em relação ao veículo elétrico da ITAIPU, pois é possível carregar um tanque extra de combustível junto ao veículo, ou abastecê-lo no posto mais próximo, podendo retornar para a base sem maiores problemas. Devido a sua baixa capacidade de carga, para o uso do “Coletortec”, faz-se necessário um ponto de apoio (Ecoponto) onde o material coletado pelo veículo, ao longo do roteiro, possa ser descarregado, e assim, já vazio, possa retornar a coleta de onde parou.

METODOLOGIA

O presente trabalho aborda uma pesquisa exploratória de caráter quali-quantitativo, baseada na bibliografia existente referente à coleta seletiva no Brasil, e nas informações recolhidas dos meios de transporte utilizados para realização dessa coleta, com foco no caminhão sem compactação (carroceria gaiola ou baú), caminhão compactador e veículo não tripulado com motor de combustão associado a um ponto de apoio - Ecoponto (fotos 1 e 2).

Fotos 1 e 2: Ecoponto e catadores com carrinho de coleta mecanizado no município de Jacobina/Ba.





A pesquisa foi fundamentada na consulta bibliográfica dos autores referência da temática de coleta seletiva no Brasil e no mundo, junto às recomendações atuais dos órgãos governamentais envolvidos, por meio da identificação das diferentes fases e diretrizes referentes à coleta seletiva.

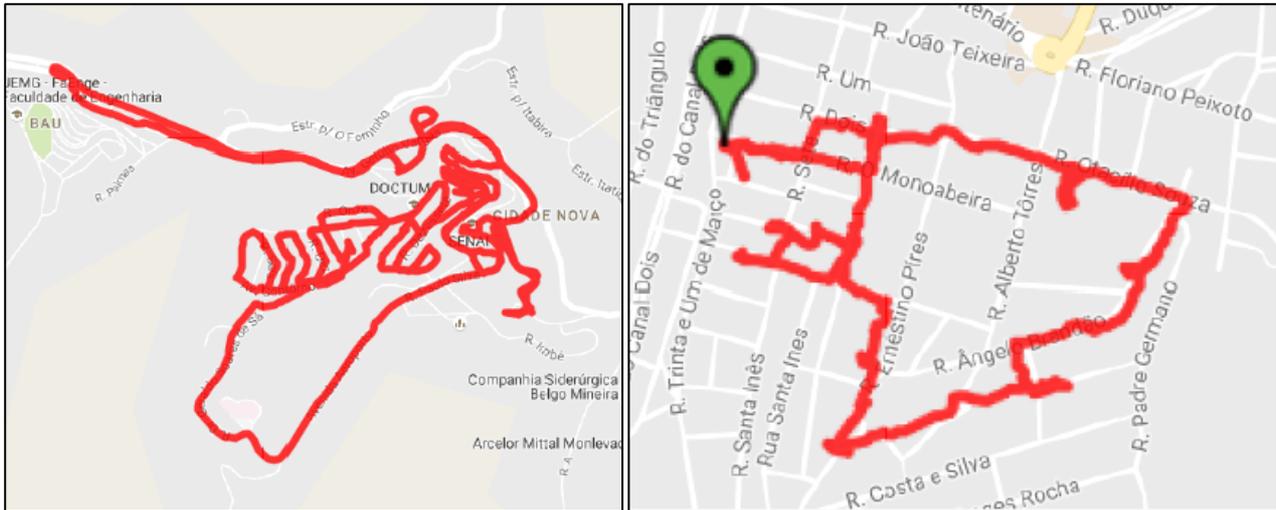
Em seguida, foi realizado um levantamento de dados primários e secundários nos quais foram analisados os custos dos equipamentos e custos operacionais. Posteriormente, foram definidos os parâmetros a serem analisados, tais como abrangência da coleta, levando em consideração a capacidade dos equipamentos e tamanho das rotas; e ocupação de espaços das vias públicas, com vistas nos impactos no tráfego decorrentes dos diferentes meios.

A abrangência da coleta foi definida com base nas rotas e nas capacidades dos dispositivos dos meios de transportes analisados. Para isso, foram avaliados dados de coleta de 3 organizações de catadores e da Companhia Municipal de Limpeza Urbana – COMLURB do município do Rio de Janeiro/RJ. Cada uma opera com um veículo estudado, a saber: Cooperativa Popular Amigos do Meio Ambiente Ltda – COOPAMA, que recebe o material da coleta seletiva da COMLURB, feita com o uso do caminhão com compactador; Associação dos Trabalhadores da Limpeza e de Materiais Recicláveis de João Monlevade – ATLMARJOM, que realiza a coleta seletiva no município de João Monlevade/MG com o uso do caminhão com carroceria tipo Baú; Cooperativa de Catadores de Materiais Recicláveis Recicla Jacobina, que opera a coleta seletiva em Jacobina/BA utilizando o veículo não tripulado com motor de combustão.

A obtenção das informações referente as rotas dos veículos foram realizadas de duas formas:

- 1- Por meio do uso do aplicativo “Minha Rota”, disponível de forma gratuita para aparelhos *Smartphone*; para os dados do veículo não tripulado com motor de combustão da Recicla Jacobina e do caminhão baú da ATLMARJOM. As rotas de cada veículo foram medidas pelo período de uma semana e o material coletado durante o roteiro mensurado foi posteriormente pesado;
- 2- Por meio do formulário “Boletim diário de operações”, para conseguir os dados da rota do caminhão compactador da Companhia Municipal de Limpeza Urbana – COMLURB, que destina o material a COOPAMA. Neste formulário o motorista informa os horários e quilometragem do veículo nas seguintes situações: ao sair da garagem, no primeiro e demais pontos de coleta (vias e/ou estabelecimentos específicos), no último ponto de coleta, ao chegar na balança rodoviária e ao depositar na COOPAMA.

Figuras 1 e 2: Rotas do caminhão da ATLMARJOM (17,1 km) e do veículo não tripulado com motor de combustão da Recicla Jacobina (3,6 km), respectivamente, mensuradas com o aplicativo “minha rota”.



Com relação a capacidade dos dispositivos de armazenamento, cabe ressaltar que segundo o Ministério do Meio Ambiente (2012), a densidade aparente dos materiais recicláveis é de $0,25 \text{ ton.m}^{-3}$, enquanto que para os resíduos misturados e compactados, é atribuído o valor de $0,6 \text{ ton.m}^{-3}$. Conforme dito anteriormente, devido à baixa densidade aparente dos materiais recicláveis, os dispositivos nunca alcançam suas capacidades máximas, sendo utilizadas as informações disponibilizadas pelas organizações de catadores citadas, referente à quantidade de material coletado até os dispositivos alcançarem o limite de capacidade, devido à restrição de volume e/ou massa.

As informações referentes à capacidade foram obtidas dos fabricantes, por meio de cotações, acesso ao endereço eletrônico dos mesmos, e dos dados coletados das organizações de catadores acompanhadas neste estudo. Assim, foram comparados os valores de capacidade máxima com valores coletados das organizações de catadores estudadas.

Os dados sobre ocupação de espaços das vias públicas e custo dos equipamentos foram também obtidos diretamente com os fabricantes, onde foram levantados os custos de cada equipamento, a saber: caminhão toco, compactador, carroceria tipo baú e veículo não tripulado com motor de combustão. Outro aspecto considerado foi a depreciação dos veículos num período de 1 ano.

Os custos operacionais foram calculados com o uso da planilha de simulação dos custos de operação do transporte rodoviário de cargas, disponibilizada pela Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT que foi elaborada com base na Resolução ANTT nº 4.810, de 19 de agosto de 2015 (ANTT, 2015). A planilha divide os custos operacionais em 2: custos fixos e custos variáveis. Os custos fixos têm como parâmetros os custos do caminhão e dispositivo, a depreciação do veículo e do equipamento, remuneração mensal do capital aplicado no veículo, custo da mão de obra do motorista (com base no piso salarial da categoria), tributos e seguro do veículo. Os custos variáveis levam em consideração os custos de manutenção, combustível, lubrificantes, lavagem e pneus.

Da mesma maneira, foi analisado em paralelo o custo da força de trabalho dos agentes de coleta, onde a composição da equipe varia de acordo com o meio utilizado, sendo considerada da seguinte forma no

presente estudo: caminhão com compactador e caminhão com carroceria tipo baú compostas por 1 motorista e 3 agentes de coleta; veículo não tripulado com motor de combustão, 2 agentes de coleta.

A planilha da ANTT foi preenchida com dados coletados em campo e pesquisa de mercado, calculados com base na quilometragem rodada por mês, obtidos através da mensuração das rotas, levando em consideração, também, o tempo gasto por rota. Cabe lembrar que devido as diferentes capacidades, há diferença na distância percorrida entre os diferentes meios.

RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados das informações coletadas no uso de cada um dos três meios apresentados.

A Tabela 1 apresenta uma análise comparativa das dimensões e capacidades levantados para cada meio de transporte estudado.

Tabela 1: análise comparativa das dimensões e capacidades levantados para cada meio de transporte estudado.

		Veículo		
		Caminhão compactador	Caminhão sem compactação	Veículo motorizado não tripulado
Capacidade	Peso nominal (kg)	9.000	4.860	500
	Peso aparente (kg)	3.170	500	200
	Volume (m ³)	15	26	3
Dimensões	Comprimento (m)	7,9	7	1,5
	Altura (m)	3,4	3,4	2
	Largura (m)	2,5	2,1	1,2
Tempo médio por rota		6h37m	1h51m	2h27m
Km médio rodado por rota		76,0	19,5	4,1

Com relação a capacidade de cada equipamento, as informações obtidas pelos fabricantes do compactador, baú e veículo motorizado não tripulado foram de 9.000 kg, 4.860 kg e 500 kg, respectivamente. Contudo, os valores obtidos das organizações de catadores apresentaram uma média de 3.140 kg por viagem do compactador, 700 kg por viagem do baú e 200 kg por viagem do veículo motorizado não tripulado. Com relação ao tempo por viagem, o caminhão compactador leva na faixa de 8 horas por viagem, resultando em apenas uma viagem por dia. Já as viagens do caminhão baú e o veículo motorizado não tripulado duram na faixa de 2 horas, possibilitando que sejam feitas de 2 a 3 viagens por dia.

A Tabela 2 apresenta uma comparação dos custos dos fixos e variáveis para cada meio de transporte utilizado.

Tabela 2: comparação dos custos dos fixos e custos variáveis para cada meio de transporte utilizado.

		Veículo		
		Caminhão compactador	Caminhão sem compactação	Veículo motorizado não tripulado
Custos Fixos	Veículo	R\$ 177.500,00	R\$ 140.000,00	R\$ 16.700,00
	Depreciação*	R\$ 44.375,00	R\$ 35.000,00	R\$ 4.175,00
	Dispositivo de armazenamento	R\$ 70.000,00	R\$ 14.800,00	R\$ -
	Depreciação dispositivo	R\$ 17.500,00	R\$ 3.700,00	R\$ -
	Motorista	R\$ 3.562,48	R\$ 3.562,48	R\$ -
	Tributos	R\$ 7.290,38	R\$ 5.790,38	R\$ -
	Seguro veículo	R\$ 6.100,00	R\$ 4.500,00	R\$ -
	Seguro dispositivo	R\$ 3.000,00	R\$ -	R\$ -
	Custo fixo mensal	R\$ 15.594,15	R\$ 8.538,98	R\$ 444,36
Custos Variáveis	Manutenção por Km	R\$ 0,96	R\$ 1,48	R\$ 1,77
	Combustível por km	R\$ 1,61	R\$ 0,82	R\$ 0,11
	Lubrificante por km	R\$ 0,02	R\$ 0,02	R\$ -
	Lavagem por km	R\$ 0,20	R\$ 0,20	R\$ -
	Pneu por km	R\$ 0,22	R\$ 0,20	R\$ 0,40
	Custo variável por km	R\$ 3,01	R\$ 2,72	R\$ 2,28

* Depreciação de 25% ao ano.

Os custos fixos utilizados como parâmetros são: veículo, dispositivo de armazenamento, depreciação, motorista, tributos e seguros. Pode-se evidenciar que o veículo motorizado não tripulado não apresenta custos do dispositivo de armazenamento e do motorista, pois o mesmo já vem com o dispositivo de armazenamento instalado e não é necessário o profissional habilitado para conduzir o veículo, conforme apresentado na foto 1, diferente dos caminhões, onde o dispositivo de armazenamento não é um opcional de fábrica e precisa ser adquirido por separado de outro fabricante. Já os custos variáveis considerados foram: manutenção por quilometro, combustível por quilometro, lubrificante por quilometro, lavagem por quilometro e pneu por quilometro.

Quanto ao consumo de combustível por mês, os dados coletados das 3 organizações de catadores apresentaram os seguintes quantitativos: o caminhão com compactador percorre na faixa de 76 km.viagem⁻¹; o caminhão com baú viaja em torno de 19,5 km.viagem⁻¹; e o veículo motorizado não tripulado circula por volta de 4,1 km.viagem⁻¹. Considerando uma jornada mensal de 24 dias de trabalho, que caminhão compactador faz apenas uma viagem por dia, enquanto o caminhão baú e o veículo motorizado não tripulado fazem 3 viagens por dia, teremos o caminhão compactador percorrendo 1824 km.mês⁻¹, o baú 1404 km.mês⁻¹ e o veículo não tripulado km.mês⁻¹. Cabe ressaltar que o veículo motorizado não tripulado inicia a coleta ao sair do Ecoponto, enquanto o caminhão compactador percorre aproximadamente 76 km para realizar a coleta, destinar o material para a cooperativas e retornar à garagem. As informações obtidas dos fabricantes e das organizações de catadores indicam um consumo

médio de quilometro por litro do caminhão compactador de 2 km.l⁻¹, caminhão baú de 4 km.l⁻¹ e do veículo motorizado não tripulado de 35 km.l⁻¹. Os valores dos combustíveis encontrados foram de R\$ 2,79 para o diesel e R\$ 3,79 para a gasolina.

Já a tabela 3 apresenta uma simulação com os custos totais por tonelada, a cada 10 quilômetros e por viagem. Verifica-se que nos 3 casos o veículo motorizado não tripulado apresenta os menores custos, seguido pelo caminhão compactador e caminhão sem compactação.

Tabela 3: Simulação dos custos totais por tonelada, 10 quilômetros rodados e viagens.

		Veículo		
		Caminhão compactador	Caminhão sem compactação	Veículo motorizado não tripulado
Custos Totais	Tonelada	R\$ 208,49	R\$ 418,94	R\$ 70,96
	10 Km	R\$ 86,14	R\$ 150,39	R\$ 35,48
	Viagens	R\$ 654,65	R\$ 293,26	R\$ 42,58

O veículo motorizado não tripulado apresenta os menores custos por tonelada (R\$ 70,96.ton⁻¹), para cada 10 quilômetros (R\$ 35,48.km⁻¹) e por viagem (R\$ 42,58.viagem⁻¹). Já os demais veículos, quanto ao custo por tonelada o caminhão compactador apresentou o valor de R\$ 208,49.ton⁻¹ e o caminhão sem compactação R\$ 418,40.ton⁻¹. Quanto aos custos para cada 10 quilômetros, o caminhão compactador exibiu o valor de R\$ 86,14.km⁻¹ e o caminhão baú R\$ 150,39.km⁻¹. Ao analisar a simulação de custos por viagem, vemos que o caminhão sem compactação se mostra menos oneroso que o caminhão compactador, com o custo de R\$ 293,26 por viagem e o compactador R\$ 654,65 por viagem.

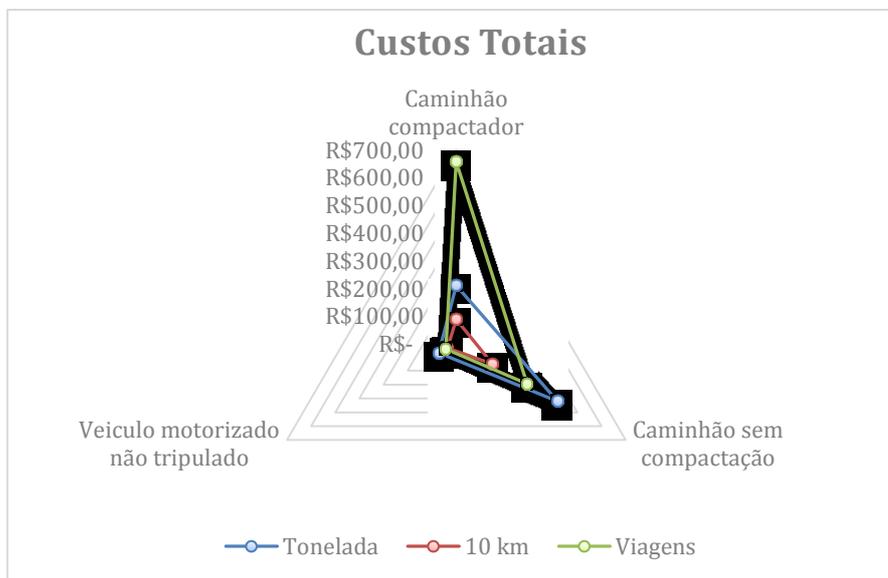
DISCUSSÕES

Conforme apresentado na Tabela 1, o veículo com o dispositivo compactador apresentou uma maior capacidade de coleta, com valores em torno de 3.140 quilos por viagem, seguido do caminhão com carroceria tipo baú, com 500 quilos e veículo motorizado não tripulado, com 200 quilos por viagem. Entretanto, vale observar que segundo dados da COOPAMA, a taxa de perda do material reciclável chega a 10,5% devido a compactação do material. Nota-se, também, que nenhum dos dispositivos conseguiram alcançar sua capacidade máxima de carga, sendo o volume um fator limitante para o planejamento da coleta.

Outro fator importante nesta análise, diz respeito às dimensões de cada veículo. Tanto o caminhão compactador como o caminhão baú apresentam dimensões que ocupam praticamente toda faixa de rolamento das vias locais e coletoras. Segundo o DNIT (2010), uma via local tem largura de faixa de rolamento mínima de 2,5 m e em vias coletoras e arteriais de 3,5 m. Os caminhões, devido a seu porte, causam interferências negativas significativas no tráfego. O que não acontece com o veículo motorizado não tripulado, que apresenta uma largura equivalente à metade da dos caminhões, com possibilidade de subir em parte no meio fio, não causando impactos significativos no trânsito. Também é importante ressaltar que os caminhões apresentam certas restrições, como impossibilidade de acessar áreas específicas, dificuldades de realizar manobras em ruas sem saída e circulação restrita em algumas regiões.

Com relação ao custo dos totais, a tabela 3 e figura 3 apresentam a simulação dos custos totais dos 3 meios estudados.

Figura 3: comparação dos custos totais por tonelada, 10 quilômetros rodados e viagem dos 3 meios.



Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

Conforme dito anteriormente, o veículo motorizado não tripulado apresenta custos inferiores para as 3 simulações. Entretanto, ao analisar os custos totais, vale a pena ressaltar que a capacidade e, conseqüentemente, abrangência da coleta do caminhão compactador é significativamente superior quando comparada com os demais meios, sendo 6 vezes superior em relação ao caminhão baú e 15 vezes superior ao do veículo motorizado não tripulado. Os principais fatores que levam a esse custo mais elevado se dão pelos custos dos equipamentos e aos custos de manutenção e combustível, tendo em vista que o caminhão faz na faixa de 2 km.l^{-1} , o caminhão baú 4 km.l^{-1} e o veículo não tripulado 35 km.l^{-1} .

CONSIDERAÇÕES FINAIS

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, tendo em vista o atendimento à Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Uma análise dos fatores relativos a aspectos locais, densidade populacional, renda e gravimetria é essencial para a definição do melhor meio a ser utilizado.

Embora apresente menores custos e menos impacto ao tráfego urbano, o veículo não tripulado com motor de combustão proporciona uma baixa capacidade de armazenagem, fazendo-se necessário um ponto de apoio local (Ecoponto) para transbordo do material coletado, sendo uma boa opção para regiões de difícil acesso para caminhões e áreas de ocupação urbana mais horizontais, mas não sendo uma boa alternativa para uma região de alta densidade demográfica.

Já o caminhão baú, apesar de ter custos significativos, tem uma capacidade média de transporte e um custo de manutenção relativamente inferior ao do compactador, além de possuir uma autonomia maior, o



que pode representar uma alternativa em regiões com densidades demográficas maiores, no entanto, é importante analisar as condições de tráfego. Infraestrutura viária local e distância entre os pontos de coleta, para otimizar seu rendimento.

O veículo compactador apresenta melhor eficiência com relação a abrangência da coleta, sendo consideravelmente superior aos demais meios estudados. Contudo, o uso deste meio requer investimentos elevados, além de apresentar alto custo operacional, tanto no referente ao consumo de combustível, quanto de manutenção, conforme também apontado por MILANEZ (2002). O uso do caminhão compactador apresenta-se como uma boa alternativa para regiões de densidade demográfica elevada, onde ocorre uma alta geração de resíduos por área. Entretanto, segundo os dados da COOPAMA, onde a perda deste material chega a 10,5%, são necessárias análises mais precisas no que se refere a qualidade em que esse material chega nas áreas de triagem, pois a premissa da coleta seletiva é o retorno deste produto à cadeia produtiva, mitigando os impactos negativos causados pela inadequada gestão e disposição incorreta desses materiais no meio ambiente, reduzindo, assim, a extração de matéria prima da natureza.

Desta maneira, o presente estudo é importante no subsídio de informações para a tomada de decisão por parte dos órgãos e instituições responsáveis pela gestão de resíduos municipais no planejamento, para assim determinar qual seria a melhor opção de meio de transporte a ser utilizado de acordo com as características locais.

BIBLIOGRAFIA

ABNT, Fórum Nacional de Normatização: **NBR 12.980 – Coleta, Varrição e Acondicionamento de resíduos sólidos urbanos- Terminologia**. Rio de Janeiro, 1993.

ANTT, Resolução Nº 4.810, de 19 de agosto de 2015. Estabelece metodologia e publica parâmetros de referência para cálculo dos custos de frete do serviço de transporte rodoviário remunerado de cargas por conta de terceiros. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/41427/ANTT_publica_metodologia_para_calculo_dos_custos_de_frete_do_transporte_rodoviario.html> Acesso em 10/11/2016.

BESEN, Gina Rizpah. **Programas municipais de coleta seletiva em parceria com organizações de catadores na Região Metropolitana de São Paulo: desafios e perspectivas**. 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

DNIT, Publicação. IPR-740. **Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas**, 2010.

BRASIL, Planos de Gestão de resíduos sólidos. Manual de orientação—Apoiando a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos: do nacional ao local. **Ministério do meio ambiente**, 2012.

_____. Nº, L. E. I. 12.305/2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, v. 2.

BRINGHENTI, JACQUELINE. **Coleta Seletiva de resíduos sólidos urbanos: aspectos operacionais e da participação da população**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CEMPRE. **Pesquisa CICLOSOFT**. Brasil: CEMPRE; 2014. Disponível em: <URL: <http://www.cempre.com.br>> [2016 mar 06].

CUNHA, Valeriana; CAIXETA FILHO, José Vicente. Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos: estruturação e aplicação de modelo não-linear de programação por metas. **Gestão & Produção**, v. 9, n. 2, p. 143-161, 2002.



GRIMBERG, Elisabeth; BLAETH, Patricia. Coleta seletiva: reciclando materiais, reciclando valores. In: **Coleta seletiva: reciclando materiais, reciclando valores**. Pólis, 1998.

LAZZARI, M. A. **Avaliação ambiental de um veículo elétrico coletor de resíduos sólidos urbanos recicláveis**. 2010. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)—Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

MARTINS, Lília Aparecida de Toledo Piza et al. Cooperativa de trabalho: experiência do reciclador solidário de Piracicaba. In: **Cooperativa de trabalho: experiência do reciclador solidário de Piracicaba**. UNIMEP, 2004.

MCIDADES.SNSA.SNIS, 2016. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2014**. Brasília. Disponível em: <URL: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2014>> [2016 mai 30].

MILANEZ, Bruno. **Resíduos sólidos e sustentabilidade: princípios, indicadores e instrumentos de ação**. 2002. Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR). Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia.

PERIOTTO, Alvaro Jose; FURLAN, Letícia Adriana. UM ESTUDO SOBRE A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE CIDADE GAÚCHA—PR. **Caderno de Administração**, v. 20, n. 2, p. 66-82, 2013.

RIBEIRO, Helena; RIZPAH BESEN, Gina. Panorama da coleta seletiva no Brasil: desafios e perspectivas a partir de três estudos de caso. **InterfaceHS-Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 2, n. 4, 2011.

LIMA, Samuel do Carmo; RIBEIRO, Túlio Franco. A coleta seletiva de lixo domiciliar: Estudos de casos. **Caminhos de Geografia**, v. 2, p. 50-69, 2000.

ROTH, Berenice W.; ISAIA, E. M. B. I.; ISAIA, Tarso. Destinação final dos resíduos sólidos urbanos. **Ciência e Ambiente**, v. 18, n. 1, p. 25-40, 1999.

SCHIRMER, Waldir Nagel et al. AVALIAÇÃO DE IMPLANTAÇÃO DA COLETA SELETIVA EM MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE—ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE IRATI (PR). **Tecno-Lógica**, v. 13, n. 1, p. 46-51, 2009.

SILVA, Erineide da Costa et al. Lixo x sobrevivência: uma análise socioeconômica e ambiental do. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21. Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental, 4**. ABES, 2001. p. 1-10

TECSCAN. Recibel. Equipamentos industriais para reciclagem. **Produtos**. Coletortec. Disponível em: <<http://www.tecscan.com.br>> Acesso em: 10 de janeiro de 2017.