

MODELO ALTERNATIVO DE COLETA SELETIVA MUNICIPAL COM A UTILIZAÇÃO DE TRICICLOS: UMA AVALIAÇÃO COMPARATIVA SUSTENTÁVEL

MODELO ALTERNATIVO DE COLECCIÓN SELECTIVA MUNICIPAL CON EL USO DE TRICÍCULOS: UNA EVALUACIÓN COMPARATIVA SOSTENIBLE

ALTERNATIVE MODEL OF MUNICIPAL SELECTIVE COLLECTION WITH THE USE OF TRICYCLES: A SUSTAINABLE COMPARATIVE EVALUATION

Leonardo Augusto Silva Oliveira*

leonardoaso@id.uff.br

Ricardo César da Silva Guabiroba**

ricardocesar@id.uff.br

Ilton Curty Leal Junior***

iltoncurty@id.uff.br

*Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda/RJ - Brasil

Resumo

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) criou diretrizes para incentivar a criação de programas de coleta seletiva. A PNRS determina ainda que esses programas sejam planejados de forma sustentável, entretanto, o transporte de resíduos causa impactos ambientais nas emissões de efeitos globais e locais. Esta pesquisa tem como objetivo principal propor um modelo alternativo de coleta seletiva municipal ao existente com a utilização de triciclos, realizando uma análise comparativa baseada nas emissões atmosféricas globais e locais do transporte de resíduos. Foi elaborado um método em oito etapas para análise e comparação da coleta seletiva municipal. Por meio da proposta de utilização de triciclos na coleta seletiva no município de Resende foi possível obter uma redução de 7.610 toneladas ao ano de CO₂, o principal gás de efeito estufa, corroborando ainda para a redução das emissões constantes no Acordo de Paris do qual o Brasil faz parte. Além das reduções nas emissões, o modelo proposto traz algumas vantagens como a utilização de um meio de transporte que não gera emissões e não consome energia e material fóssil para sua implementação, bem como a inclusão social dos catadores de resíduos.

PALAVRAS CHAVE: POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS; COLETA SELETIVA; TRICICLOS; GASES DE EFEITO ESTUFA

Resumen

La Política Nacional de Residuos Sólidos (PNRS) creó lineamientos para incentivar la creación de programas de recolección selectiva. El PNRS también determina que estos programas se planifican de manera sostenible, sin embargo, el transporte de residuos genera

impactos ambientais en las emisiones con efectos globales y locales. Esta investigación tiene como objetivo principal proponer un modelo alternativo de recogida selectiva municipal al existente con el uso de triciclos, realizando un análisis comparativo en base a las emisiones atmosféricas globales y locales del transporte de residuos. Se desarrolló un método de ocho pasos para el análisis y la comparación de la recogida selectiva municipal. A través de la propuesta de uso de triciclos para recogida selectiva en el municipio de Resende, se logró obtener una reducción de 7.610 toneladas anuales de CO₂, principal gas de efecto invernadero, apoyando aún más la reducción de emisiones contenida en el Acuerdo de París del que Brasil es parte de ella. Además de las reducciones de emisiones, el modelo propuesto trae algunas ventajas como el uso de un medio de transporte que no genera emisiones y no consume energía y material fósil para su implementación, así como la inclusión social de los recicladores.

PALABRAS CLAVE: POLÍTICA NACIONAL DE RESIDUOS SÓLIDOS; RECOGIDA SELECTIVA; TRICICLOS; GASES DE INVERNADERO

Abstract

The National Solid Waste Policy (PNRS) created guidelines to encourage the creation of selective collection programs. The PNRS also determines that these programs are planned in a sustainable manner, however, the transport of waste causes environmental impacts on emissions with global and local effects. This research has as main objective to propose an alternative model of municipal selective collection to the existing one with the use of tricycles, performing a comparative analysis based on the global and local atmospheric emissions of the transport of waste. An eight-step method was developed for the analysis and comparison of municipal selective collection. Through the proposal to use tricycles for selective collection in the municipality of Resende, it was possible to obtain a reduction of 7,610 tons per year of CO₂, the main greenhouse gas, further supporting the reduction of emissions contained in the Paris Agreement of which the Brazil is part of it. In addition to reductions in emissions, the proposed model brings some advantages such as the use of a means of transport that does not generate emissions and does not consume energy and fossil material for its implementation, as well as the social inclusion of waste pickers.

KEYWORDS: NATIONAL SOLID WASTE POLICY; SELECTIVE COLLECT; TRICYCLES; GREENHOUSE GASES

1. Introdução

É indiscutível que o aumento de resíduos gerados pela sociedade preocupa a todos, seja pelo espaço que o rejeito ocupa, pela sua destinação inadequada, por doenças causadas pela exposição ao rejeito e/ou pela poluição de fontes fluviais. Em busca da melhoria da gestão nesta área, desde 2010, com a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), o Brasil determina que diversos setores produtivos implementem programas de logística reversa e de coleta seletiva (BRASIL, 2010b).

A PNRS foi um marco legal para a gestão de resíduos no Brasil, trazendo consigo

diversas definições, inclusive soluções para atender aspectos sociais, ambientais e econômicos dos resíduos gerados. Os autores (MANNARINO *et al.*, 2016; RIBEIRO *et al.*, 2014) ainda relatam que a PNRS estabeleceu diretrizes para a gestão integrada e para o gerenciamento dos resíduos sólidos, tratando também das responsabilidades dos geradores de resíduos e do poder público. Neste aspecto, a coleta seletiva tem um papel de destaque, uma vez que é um processo de separação prévia dos resíduos sólidos de acordo com sua composição, sendo ainda a coleta seletiva responsável essencialmente para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010b; FERRI & CHAVES, 2014).

A PNRS incentiva os municípios a realizarem a coleta seletiva. Entretanto, o processo de coleta seletiva também gera impactos ambientais (emissão de gases na atmosfera), financeiros (custo da coleta seletiva) e sociais (criação de mercado informal de venda de resíduos). Neste sentido, elaborar um plano de coleta seletiva que seja sustentável é um desafio para todos os gestores públicos (BRASIL, 2010b), com decisões a cerca de como será a realização da coleta seletiva; quem será o responsável por esta gestão; qual modalidade seria a mais adequada e; quais os custos inerentes a esta atividade (BERNARDO & LIMA, 2017; CHAVES *et al.*, 2014; PAUL *et al.*, 2019).

O município de Resende situado na região Sudeste do Brasil, no Estado do Rio de Janeiro, entre a Serra do Mar e às margens do Vale do Paraíba, destaca-se, pois está localizado em uma área estratégica em termos geográficos, situado entre três maiores centros econômicos do Brasil – Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte. O município possui 100% de atendimento da população urbana com o serviço de coleta de resíduos domiciliares, porém a coleta seletiva atende apenas 40% dos domicílios urbanos (PMR/RJ, 2019).

Um dos principais desafios que a sociedade mundial enfrenta no século XXI é em relação às mudanças climáticas, assim como suas causas e consequências (MARTIN *et al.*, 2016). As emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) estão diretamente ligadas a esse fenômeno (IPCC, 2017). A redução de emissões é uma das razões que cada vez mais países vêm procurando por melhorias na eficiência de seus processos produtivos (ZHANG *et al.*, 2016). O Brasil está entre os quinze maiores emissores mundiais de GEE (WORLD BANK, 2020) e tem assumido diversos compromissos de controle e de redução de suas emissões perante órgãos internacionais (SOARES & CUNHA, 2019), como o compromisso nacional voluntário de adoção de ações de mitigação com vistas a reduzir suas emissões de gases de efeito estufa (GEE) entre 36,1% e 38,9% em relação às emissões projetadas para 2020 (BRASIL, 2020).

Para mitigar os efeitos da emissão de gases no transporte de resíduos, diversos países adotam meios alternativos para realizar a coleta seletiva (ASIBEY *et al.*, 2019; STERN *et al.*, 1997; ZACHARIAS & ZHANG, 2015), visando à redução dos impactos ambientais neste processo (CORBO & GLAUS, 2019). A utilização de triciclos é uma alternativa adotada em diversas cidades ao redor do mundo (ANDERLUH *et al.*, 2017; MELO & BAPTISTA, 2017; PMPP/AL, 2013).

Neste contexto, esta pesquisa tem como objetivo principal propor um modelo alternativo de coleta seletiva municipal ao existente, realizando uma análise comparativa baseada nas emissões atmosféricas globais e locais da coleta seletiva municipal. Como objetivos específicos, pretende-se compreender a evolução das pesquisas sobre gestão de resíduos sólidos e sustentabilidade; identificar os modelos de coleta seletiva que são utilizados nacionalmente e internacionalmente; realizar o levantamento de indicadores de sustentabilidade aplicados à gestão de resíduos sólidos; criar um modelo de análise comparativa de sistemas logísticos de coleta seletiva; analisar e comparar o modelo atual de

coleta seletiva com o modelo proposto baseando-se em indicadores de sustentabilidade.

Os poluentes locais possuem diversos impactos ambientais como a desfiguração da paisagem, a redução da fotossíntese e a alteração no crescimento das árvores e na produção de frutos (ABREU, 2005). Destacam-se ainda os impactos na saúde causados por Materiais Particulados (MP) que causa diversos danos à saúde como câncer respiratório arteriosclerose, inflamação de pulmão, agravamento de sintomas de asma, aumento de internações hospitalares e podem levar à morte. Já o Óxido de Nitrogênio (NOx) auxilia na formação de chuva ácida e o Monóxido de Carbono (CO) em alta concentração pode levar à asfixia e à morte (MMA, 2020).

A pesquisa se justifica por tratar de melhorias no processo de coleta seletiva por meio da proposição de um modelo alternativo de coleta seletiva, visando à redução das emissões de gases de efeito estufa global e poluentes com impactos locais, comparando os impactos ambientais com o modelo de coleta atualmente adotado no Município de Resende, localizado no Estado do Rio de Janeiro.

Para o alcance do objetivo proposto, além desta Introdução, este estudo apresenta ainda os seguintes itens: (2) Fundamentação teórica que retrata a contextualização da gestão integrada de resíduos sólidos, com destaque a coleta seletiva municipal com a utilização de triciclos; (3) Procedimentos metodológicos no qual ilustra o fluxograma adaptado para análise comparativa de coleta seletiva municipal; (4) Análise dos Resultados que aplica o método descrito na coleta seletiva no município de Resende/RJ e apresenta as discursões dos resultados; e (5) Considerações finais que apresenta as considerações finais do trabalho além das limitações do estudo e sugestões para outras abordagens em novas pesquisas.

2. Fundamentação

2.1. Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil

Manuel *et al.* (2013) comenta que até 2010 as normas que definiam e regulavam os resíduos sólidos tinham como características sua disposição final em legislações diferentes, às vezes, conflitantes entre si, emanados de órgãos públicos também diferentes. Estas normas eram estabelecidas com objetivos diversos nos três níveis de poder e nos três poderes da República.

Em 02 de agosto de 2010, foi instituída a Lei 12.305 que cria a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) no Brasil. Os autores Ferri & Chaves (2014) esclarecem que a PNRS é o objeto legal que tem como finalidade normalizar a prestação de serviços de limpeza urbana e o tratamento para a gestão de resíduos sólidos, tendo ainda como objetivo acabar com os vazadouros a céu aberto (lixões) e concretizar projetos de coleta seletiva no país.

Desta forma, a coleta seletiva desempenha um papel importante na gestão dos resíduos. A PNRS cria o apoio legal para que a coleta seletiva auxilie na disposição final adequada dos resíduos sólidos. Conke & Nascimento (2018) ainda comentam sobre a existência de um ator bastante participativo na coleta seletiva: as prefeituras, governos ou departamentos a eles subordinados.

A pesquisa de Ferri & Chaves (2014) comenta que a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é um marco para a regulação da gestão dos resíduos sólidos por definir a participação e a responsabilidade compartilhada sobre o ciclo de vida dos produtos. O Quadro 1 apresenta a responsabilidade compartilhada da coleta seletiva e suas principais atribuições, conforme as diretrizes da PNRS.

Quadro 1. Principais atores e atribuições na Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Atores	Principais Atribuições Específicas	Atribuições Comuns
Poder público	Organizar o serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos e fiscalizar a sua prestação	
Setor empresarial (fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes).	Realizar a logística reversa no limite da proporção dos produtos colocados no mercado interno	Assegurar o cumprimento da PNRS e de seu decreto regulamentador
Sociedade / Consumidor	Segregar, acondicionar e disponibilizar os resíduos para coleta e exercer o controle social.	

Fonte: Brasil (2010b); Romani & Segala (2014)

Em relação a geração de resíduos, o Brasil gerou em 2018 um total de 216.629 toneladas de resíduos sólidos urbanos por dia, totalizando uma geração de 1,039 quilo por habitante diariamente (ABRELPE, 2019). A segregação dos resíduos na fonte geradora consiste na primeira etapa do sistema de coleta seletiva. Para a realização dessa etapa, existem basicamente três formas de segregação dos resíduos, das quais devem ser definidas aquelas que melhor se ajustem às necessidades e objetivos do município e, a partir dela, determinar o processo de operação da coleta seletiva (PMR/RJ, 2019).

A coleta dos resíduos sólidos urbanos obteve um aumento de 2017 para 2018 de 1,66% no Brasil, totalizando um montante de 199.311 toneladas, coletadas diariamente (ABRELPE 2019). Ainda de acordo com a pesquisa da ABRELPE, estima-se que quase três quartos dos municípios brasileiros pratiquem algum tipo de coleta seletiva. Entretanto, ainda permanece como uma atividade inicial, uma vez que não tem abrangência em todos os bairros dos municípios. Simplificadamente, pode-se tratar de três modalidades da coleta seletiva: Entrega voluntária; Porta a porta (PaP) e; Por organização de catadores de materiais recicláveis.

Os Locais de Entrega Voluntária (LEVs) são endereços ou locais disponibilizados para a entrega voluntária de resíduos sólidos secos (recicláveis), preferencialmente implementados em pontos estratégicos e com um grande fluxo de pessoas (supermercados, postos de combustíveis, órgãos públicos, dentre outros). Estes locais devem possuir dispositivos específicos dimensionados para a recepção e o acondicionamento dos resíduos sólidos secos (recicláveis) entregues voluntariamente.

O modelo PaP ainda é o mais utilizado. De acordo com Bernardo & Lima (2017), cerca de 80% dos municípios que possuem o sistema de coleta seletiva adotam esse modelo, seguido por 45% que utilizam o modelo de coleta em Ecopontos/Entrega Voluntária. Adicionalmente, Battistella (2014) e Bernardo (2016) comentam que a determinação das rotas/roteiros do veículo coletor dos resíduos sólidos não é elaborada da melhor maneira possível, pois normalmente são planejados manualmente de acordo com a prática da equipe responsável na maioria dos municípios brasileiros.

2.2. Coleta Seletiva com a utilização de triciclos

A utilização de meios alternativos nos processos de coleta seletiva caminha em direção à sustentabilidade. O transporte é um problema crescente, emitindo gases de efeito estufa e, conseqüentemente, causando a destruição da camada de ozônio, além da emissão de gases poluentes. Para mitigar este problema, existem diversas opções para lidar com o transporte no território do município. A geração de resíduos nas cidades também é um problema crescente e os governantes precisam desenvolver sistemas de gestão de resíduos que estão em constante evolução e crescimento.

Para entender a utilização de meios alternativos de coleta de resíduos, com destaque na utilização de bicicletas e triciclos, foi realizada uma pesquisa bibliográfica utilizando a

base de dados da *Web Of Science* (WOS) com as palavras-chaves “*Tricycle and waste management*” e o resultado foram cinco artigos. Contudo, dois artigos comentavam sobre a reutilização de baterias de bicicletas elétricas, não sendo o foco do presente estudo. Os três artigos restantes discorrem sobre a utilização de triciclos na coleta seletiva.

A utilização de triciclos na coleta seletiva pode ser a solução para problemas como a dificuldade de circulação de veículos motorizados, problema este enfrentado na cidade Machala no Equador, onde cerca de 50% da população não possui serviço de coleta seletiva (STERN *et al.*, 1997). Em Beijing na China, a utilização de triciclos gerou ganhos em termos de tempo, custo e eficiência energética em relação a alternativas motorizadas utilizadas até o momento (ZACHARIAS & ZHANG, 2015). Em Kumasi em Gana, Asibey *et al.* (2019) discorrem sobre os riscos e as práticas de segurança e de saúde ocupacional entre os catadores de resíduos sólidos. O estudo demonstra a importância de mitigar riscos e melhorar a saúde e a segurança dos trabalhadores por meio de intervenções e de melhores estratégias de gestão de resíduos.

Com a utilização das palavras “*Bicycle and waste management*”, a base WOS retornou 13 resultados, sendo apenas um com abordagem sobre coleta seletiva. Corbo & Glaus (2019) discutem como diferentes métodos de transporte e as diferenças da área urbana podem gerar impactos do transporte de materiais no ambiente urbano no caminho para a sustentabilidade na cidade de Montreal no Canadá. Nesse estudo, os autores demonstram que a coleta da mesma quantidade de materiais, mas dividindo essa massa usando diferentes métodos de transporte e diferentes níveis hierárquicos de transporte geram vantagens. Essa vantagem está no fato de que o fluxo dos materiais é dividido em diferentes zonas, usando diferentes métodos de transporte e, portanto, veículos menores ecologicamente corretos podem ser usados em ambientes urbanos para diminuir o impacto ambiental do processo.

O trabalho de Corbo & Glaus (2019) corrobora com os dados desta pesquisa, uma vez que demonstra os cuidados e a atenção aos aspectos da sustentabilidade na gestão dos resíduos e ilustra a oportunidade de melhoria na gestão integrada dos resíduos sólidos, criando uma cidade mais verde, consumindo menos energia e adaptando o meio de transporte utilizado de acordo com a distância percorrida, a quantidade de material transportado e as características do território.

3. Procedimentos Metodológicos

Este procedimento proposto tem a finalidade de comparar dois ou mais modelos de coleta seletiva com base em aspectos da sustentabilidade. Pelo fato de estarem associados ao processo de coleta seletiva, esses modelos apresentam operação com início a partir da geração de um resíduo. O fim da operação trata-se de acondicionamento e separação dos resíduos sólidos municipais em cooperativas. Os aspectos da sustentabilidade e suas respectivas medidas serão determinantes para analisar o desempenho do sistema logístico. A realização do estudo seguirá as etapas descritas na Figura 1. A definição dessas etapas teve como base o trabalho de Cunha (2017).

Cunha (2017) desenvolveu em sua pesquisa um procedimento metodológico que auxilia os gestores na análise comparativa de desempenho de duas ou mais cadeias de suprimento associadas à logística reversa. O objetivo dos autores era entender qual das cadeias de destinação do óleo de fritura era mais sustentável, aproximando muito do objetivo deste trabalho. Por se tratar de uma análise da cadeia de resíduos, foi utilizada a metodologia de Cunha (2017) adaptada para a realidade dos resíduos recicláveis. Toda o método utilizado

está compreendida na Figura 1 e o detalhamento de cada Etapa encontra-se neste método detalhado a seguir.

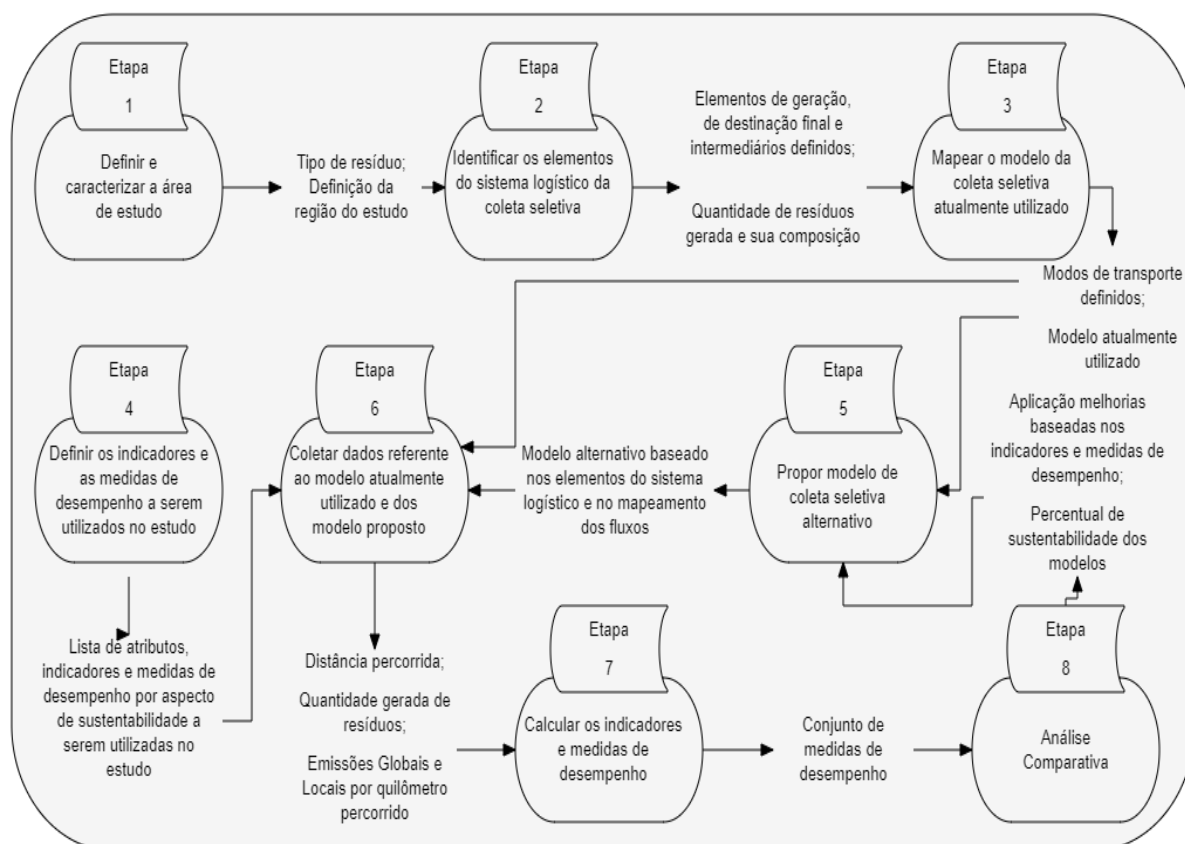


Figura 1. Etapas metodológicas utilizadas para análise comparativa da cadeia de gestão de resíduos.

Fonte: Elaborado pelos autores Etapa (1) – Definir e caracterizar a área de estudo

A primeira Etapa visa à definição do caso que se quer estudar e o levantamento de suas características. Neste sentido, para comparar dois ou mais sistemas logísticos de coleta seletiva deve-se: (1) delimitar a região onde o estudo será aplicado. Ao delimitar a região, é possível verificar os sistemas logísticos de coleta seletiva que justificam a realização deste estudo e aplicar este método, e; (2) definir o tipo de resíduo gerado. Caso o resíduo possua locais diferentes de origens, estes também deverão ser definidos. A caracterização do estudo de caso dará base para o entendimento da identificação dos elementos do sistema logístico.

Etapa (2) – Identificar os elementos do sistema logístico da coleta seletiva

A Etapa 2 visa identificar os elementos que compõem o sistema logístico da coleta seletiva. Tendo-se em mente que o primeiro elemento de um sistema logístico da coleta seletiva é o gerador do resíduo e o último elemento é o seu local de destinação final, o resíduo é gerado por residentes, organizações privadas e públicas e coletado pela cooperativa responsável pela coleta seletiva municipal, onde será separado, comercializado, reciclado ou disposto de modo adequado. A identificação de cada elemento da cadeia foi obtida por meio de pesquisa bibliográfica e documental.

Etapa (3) – Mapear o modelo da coleta seletiva atualmente utilizado

Como há mais de um elemento no sistema logístico da coleta seletiva, há a necessidade de movimentação física entre um e outro, e esta movimentação pode ser feita por diferentes modos de transporte. Os modos podem ser rodoviário, ferroviário, dutoviário, aquaviário ou aeroviário (WANKE & FLEURY, 2006). Portanto, nesta Etapa, os modos utilizados no sistema logístico da coleta seletiva foram definidos, além do modelo de coleta seletiva atualmente utilizado.

Etapa (4) – Definir os indicadores e as medidas de desempenho a serem utilizados no estudo

Esta etapa visa levantar os atributos associados aos aspectos de sustentabilidade com base na literatura e, posteriormente, identificar os indicadores e as medidas de desempenho associados a cada atributo. Após levantar um conjunto de indicadores e medidas de desempenho, é necessário realizar os cálculos destas medidas. No entanto, pode ser que nem todas as medidas definidas na etapa anterior sejam consideradas no estudo. Neste sentido, esta etapa tem o intuito de determinar um ou mais critérios que serão utilizados para definir tanto os indicadores como as medidas de desempenho que darão base para a análise do sistema logístico. Esses critérios devem justificar a seleção das medidas definidas para o estudo. Essa seleção poderá levar em conta as medidas que têm mais influência na operação do sistema logístico em estudo: (1) medidas que geram impactos diretos mais graves para a sociedade, tais como impactos que prejudicam a saúde da população; (2) modos de transporte dos resíduos e (3) particularidades associadas à região onde opera o sistema logístico da coleta seletiva.

Etapa (5) – Propor modelo de coleta seletiva alternativo

Após o levantamento do modelo atualmente utilizado de coleta seletiva municipal, dadas as características da área de estudo, esta etapa inicia-se com a proposição de um modelo alternativo de logística da coleta seletiva, descrevendo suas características.

Etapa (6) – Coletar dados referente ao modelo atualmente utilizado e dos modelos propostos

O período e a forma de coleta de informações foi definido por meio da pesquisa bibliográfica junto aos documentos da Prefeitura municipal (PMR/RJ, 2017, 2018a, 2018b, 2019) nos quais fornecem os dados necessários para calcular os dados e as medidas de desempenho definidas para o estudo. Além do Plano Municipal de Gestão de Resíduos Sólidos, foi utilizado o Plano de Mobilidade Urbana (PMR/RJ, 2015) para viabilização da utilização de triciclos. O resultado desta etapa foi a quantidade de resíduos a ser coletada, a distância que será percorrida, bem como a estrutura de emissões de cada modo.

Os transportes são grandes fontes de poluição. Assim, emissões de poluentes locais ou de gases de efeito estufa podem ser agravadas pelas más condições dos veículos e das vias, das tecnologias empregadas e das formas de gerenciamento da operação (LEAL JUNIOR, 2010). As equações utilizadas para os cálculos dos indicadores selecionados na etapa 4 foram descritas na aplicação do método.

Etapa (7) – Calcular os indicadores e medidas de desempenho

Esta etapa inicia-se com o cálculo dos indicadores e das medidas de desempenho. Cada medida é calculada a partir do quociente de dois fatores definidas na Etapa 4. O resultado desta etapa será um conjunto de medidas de desempenho. A partir destes valores será possível comparar as medidas e obter a conclusão do estudo na próxima etapa.

Etapa (8) – Análise comparativa

A Etapa 8 será a comparação das propostas de melhorias e a análise do percentual de sustentabilidade dos modelos logísticos de coleta seletiva (atual e proposto), identificando o mais sustentável. Nesta etapa, será possível alcançar o objetivo de pesquisa, ou seja, a análise dos indicadores de emissões dos veículos de coleta seletiva e verificar o percentual de melhoria desses indicadores com o modelo proposto. Podendo ainda, retornar à Etapa 5, propondo novas alternativas para aprimorar a sustentabilidade do sistema logístico de coleta seletiva.

4. Análise Dos Resultados

O método descrito na Figura 1 será aplicado pelos autores no município de Resende, Estado do Rio de Janeiro. Os dados necessários para esta aplicação foram coletados no Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) disponibilizado pelo município, sendo este o principal documento utilizado como fontes de dados da pesquisa.

4.1. ETAPA I – DEFINIR E CARACTERIZAR A ÁREA DE ESTUDO

Situado na região Sudeste do Brasil, no Estado do Rio de Janeiro, o Município de Resende possui população estimada em 2019 de 131.341 pessoas, ocupando a 23ª posição no Estado do Rio de Janeiro, de números de habitantes de 92 municípios. Com área total de 1.099.336 m², o município é o 7º com maior território no Estado do Rio de Janeiro (IBGE, 2020).

O relevo em termos de declividade é um dos fatores utilizados para a determinação dos locais favoráveis para a disposição final ambientalmente adequada de resíduos sólidos. Sendo assim, o relevo do município tem influência na sustentabilidade dos serviços de coleta de resíduos sólidos, principalmente, em relação ao custo de manutenção da frota, do tempo despendido e na emissão de gases na prestação de serviços. A declividade do terreno no Município se apresenta distribuída em seis classes, predominando os relevos Forte Ondulado com abrangência e Ondulado, cobrindo respectivamente 37,82% e 34,97% da unidade territorial de Resende/RJ, conforme descrito no Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) e detalhado na Tabela 1.

Tabela 1. Quantificação das áreas e abrangência das classes de declividade do município de Resende/RJ.

Declividade	Área (Km²)	Abrangência (%)
Plano 0 a 3%	93,2525	8,52%
Suave Ondulado 3 a 8%	132,7016	12,13%
Ondulado 8 a 20%	382,7170	34,97%
Forte Ondulado 20 a 45%	413,9654	37,82%
Montanhoso 45 a 75%	66,5605	6,08%
Escarpado > 75%	5,2603	0,48%

Fonte: PMR/RJ (2017)

Sobre a setorização e divisão do município, será utilizada a setorização do município em bacias de captação de recursos, segundo Figura 2, conforme descrito no PMGIRS que teve a principal variável considerada para a setorização do município na determinação da capacidade máxima de deslocamento dos municípios para a entrega voluntária de resíduos sólidos definida em 1,5 a 2,5 km.

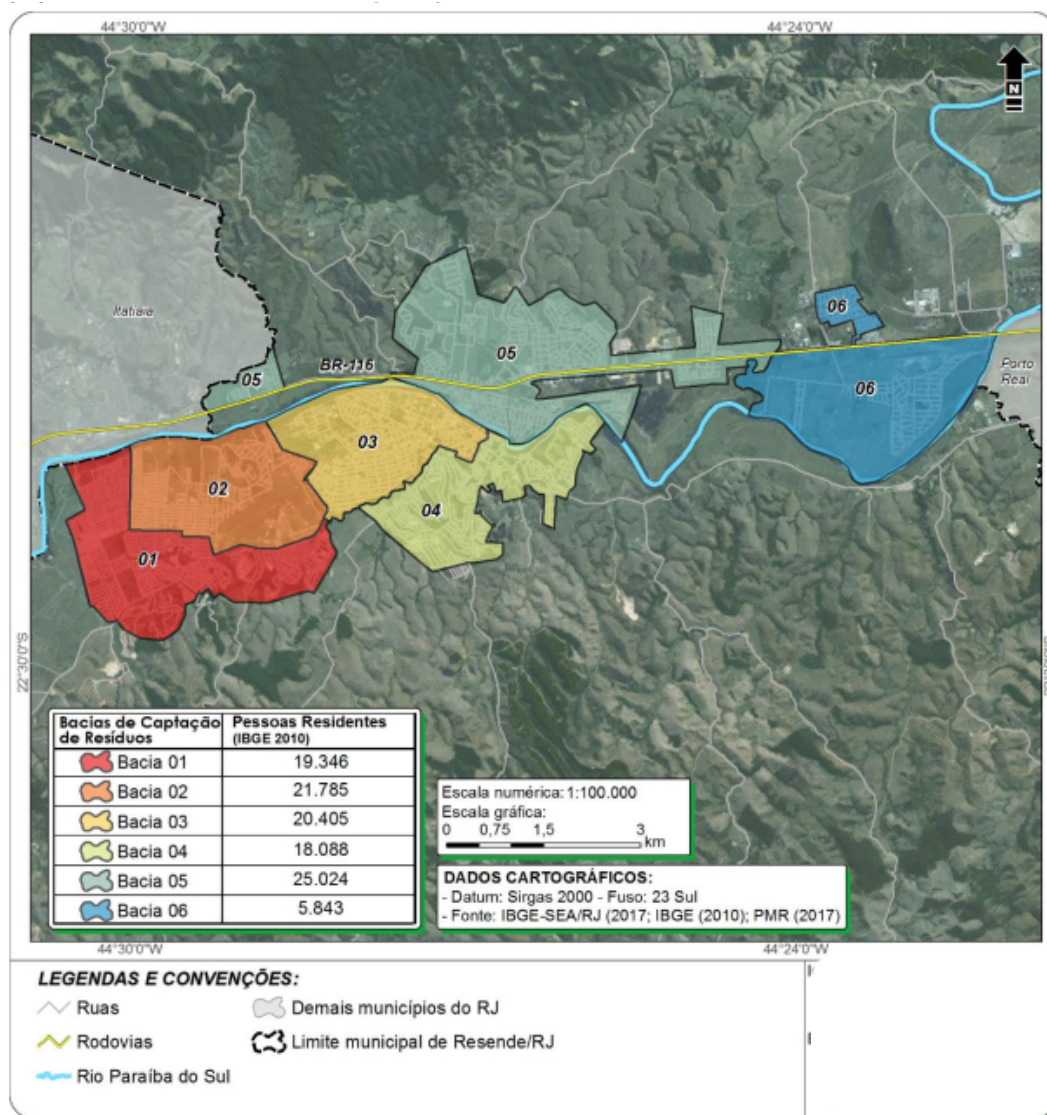


Figura 2. Bacias de captação de resíduos do município de Resende/RJ.

Fonte: PMR/RJ (2018a)

O PMGIRS ainda considerou um conjunto de indicadores socioeconômicos e demográficos dos habitantes locais, baseados nos dados referentes aos setores censitários do censo demográfico do IBGE de 2010. Outro aspecto fundamental na definição dos limites da bacia foi a consideração de informações do relevo do município de Resende buscando minimizar as dificuldades de transporte de resíduos sólidos por meio dos veículos de tração humana e mecânica em regiões íngremes. Assim, o PMGIRS elaborou a partir dos dados do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) obtidos junto à USGS (*United States Geological Survey*), a carta temática de declividade do município, na qual foi possível observar espacialmente as áreas mais íngremes.

Atualmente, a coleta seletiva realizada no município de Resende é na modalidade Porta-a-Porta (PaP). Entretanto, já consta no PMGIRS (PMR/RJ, 2019) a implementação de LEVs a partir do ano de 2020. De acordo ainda com o referido plano, os locais para a implementação dos LEVs foram determinados com base nas “áreas de influências de captação de resíduos” que são áreas de características homogêneas com dimensões que permitam o deslocamento dos pequenos geradores e coletores de seu perímetro até o respectivo ponto de

entrega voluntária. Outro ponto importante ao considerar a coleta seletiva com a utilização de triciclos é a disponibilidade de ciclovias no município. De acordo com o Plano de Mobilidade Urbana em Resende (PMR/RJ, 2015), publicado em 2015, são apresentadas as ciclovias presentes no município bem como é apresentado um projeto de ampliação, que facilitará a operação de coleta por meio de triciclos.

4.2. ETAPA 2 – IDENTIFICAR OS ELEMENTOS DO SISTEMA LOGÍSTICO DA COLETA SELETIVA

Em relação à geração de resíduos no município, a estimativa obtida para a geração per capita média em Resende é de 0,731 kg/hab. dia, conforme o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMR/RJ, 2019), sendo considerado como histórico os registros fornecidos pela Prefeitura Municipal e pela empresa contratada pela coleta convencional dos resíduos sólidos, referentes ao ano de 2016 e 2017.

Tabela 2. Quantidade média de geração dos resíduos sólidos urbanos no município de Resende/RJ.

Município	Quantidade Média Mensal (Ton)	Quantidade Média Diária (Ton)	Geração Per Capita Média (Kg/Hab.Dia)
Resende	2.822,29	92,77	0,731

Fonte: Adaptado (PMR/RJ, 2019)

A composição dos resíduos do município é apresentada a partir do Gráfico 1 que demonstra existir um percentual considerável de resíduos recicláveis (31,08%) e de Resíduos Compostáveis (55,61%) que poderão sofrer algum tipo de tratamento e serão reutilizados. Não havendo o processo de coleta seletiva, todo esse material seria disposto nos vazadouros a céu aberto.

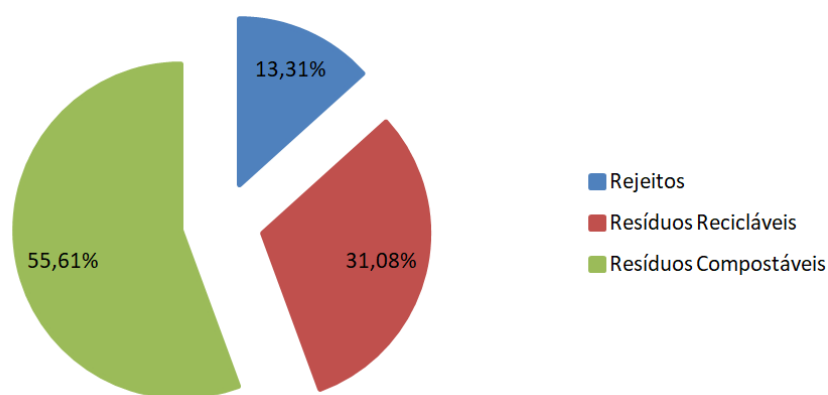


Gráfico 1. Composição Gravimétrica dos resíduos sólidos gerados no município de Resende/RJ.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de PMR/RJ (2019)

A coleta seletiva no município de Resende é realizada pela Associação de Catadores Recicla Resende (ACRR) em parceria com a Prefeitura Municipal. Atualmente, a coleta seletiva tem abrangência de 25 bairros, incluindo ainda 16 escolas, grandes geradores, condomínios residenciais e 2 distritos do município (PMR/RJ, 2017). Atendendo cerca de 14.000 domicílios, correspondendo a 40% do total de domicílios do município (PMR/RJ, 2019). Após passarem pela triagem, separação e enfardamento, os resíduos são armazenados no pátio até que tenham volume suficiente para sua comercialização. No PMGIRS (PMR/RJ, 2019) ainda comenta que a associação “comercializa boa parte das categorias de materiais passíveis de reciclagem, com maior ênfase nos plásticos (diversas tipologias), papel, papelão, vidro, alumínio e sucatas”.

4.3. ETAPA 3 - MAPEAR O MODELO DE COLETA SELETIVA ATUALMENTE UTILIZADO

No tocante às cooperativas que atuam no município e conforme expõe o Art. 9º, § 2º do Decreto No 7.404 de 2010, o sistema de coleta seletiva deverá ser implementado pelo titular dos serviços públicos (BRASIL, 2010a). O município de Resende destina o material reciclável obtido por meio da coleta seletiva para a Unidade de Triagem de Resíduos operada pela Associação de Catadores Recicla Resende (ACRR) em parceria com a Prefeitura Municipal, onde ocorre o recebimento, triagem e enfardamento do material, até a saída para comercialização e concentra toda estrutura envolvida no processo de coleta seletiva municipal. Além disto, há a atuação da Associação de Garimpeiros do Aterro Sanitário de Resende (AGASAR), que realiza atividades de triagem, enfardamento e comercialização de materiais recicláveis retirados do maciço de resíduos depositados no aterro controlado municipal.

Os materiais recicláveis ainda deverão ser armazenados e preparados para a sua coleta. Os recipientes utilizados no acondicionamento devem obedecer a requisitos mínimos de funcionalidade e de higiene, devendo ter um aspecto que não o torne repulsivo ou desagradável, podendo ser utilizados recipientes reutilizáveis e/ou descartáveis. Os recipientes reutilizáveis devem possuir um formato que facilite seu esvaziamento (sem aderência nas paredes internas e nos cantos), ser confeccionado em material resistente (plástico ou metal) e que evite vazamentos, ter alças laterais e tampas, além de capacidade máxima de 100 litros, a fim de não dificultar a coleta (PMR/RJ, 2019).

Os materiais recicláveis são coletados pela Associação de Catadores Recicla Resende (ACRR), na modalidade porta a porta em alguns bairros e encaminhado para a sede da associação juntamente com materiais segmentados e encaminhados por empresas, órgãos públicos, escolas e outros apoiadores. Os resíduos são triados, segregados e enfardados na associação e armazenados até que atinjam o volume necessário para sua comercialização (PMR/RJ, 2019). A coleta seletiva deve ter a regularidade. Assim, os cidadãos irão se habituar a dispor os resíduos somente nos dias e horários em que os veículos coletores irão passar. Para tanto, a população deve ser informada e orientada antecipadamente.

Para a operacionalização do serviço de coleta seletiva em Resende, são utilizados veículos coletores de tração mecânica. Considerando os aspectos técnicos e operacionais para a execução dos serviços de coleta seletiva, é utilizado caminhões de categoria “leve” ou 3/4 implementados com carroceria de carga seca do tipo gaiola metálica, conforme especificado no Quadro 2. As guarnições de coleta seletiva geralmente são compostas por motorista e coletores (garis), sendo que os garis são responsáveis por receber o resíduo e organizar na carroceria do caminhão, objetivando uma melhor eficiência na capacidade de carga do veículo.

Quadro 2. Especificações técnicas do veículo coletor considerado para a execução dos serviços de coleta seletiva municipal.

Veículo	
Categoria	Pequeno (3/4)
Modelo de referência	Ford Cargo 816
Peso Bruto Total (PBT) (kgf)	8.250
Combustível	Diesel
Implemento	
Carroceria	Gaiola
Modelo de referência	Facchini

Capacidade volumétrica teórica (m ³)	30,83
--	-------

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de PMR/RJ (2019)

4.4. ETAPA 4 – DEFINIR OS INDICADORES E MEDIDAS DE DESEMPENHOS A SEREM UTILIZADOS NO ESTUDO

Os gases liberados nas operações de transporte geram impactos em todo o globo terrestre (LEAL JUNIOR, 2010). Dentre os gases de efeito estufa gerados nas operações de transporte, pode-se destacar o dióxido de carbono – CO₂, metano – CH₄, óxido nitroso – N₂O, vapor de água e clorofluorcarbonos – CFC, sendo o CO₂ a principal fonte de emissão nos transportes (BARTHOLOMEU *et al.*, 2016; BORBA *et al.*, 2018; UNFCCC, 2011). As operações de transporte também geram efeitos a partir das emissões locais dentro dos municípios(IPEA, 2011).

Afirmando o compromisso de redução das emissões de poluentes, a partir da década de 90 houve uma clara redução no Brasil das emissões de poluentes locais, como o monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos (HC), além de material particulado (MP). O teor de enxofre (S) no combustível tem uma influência significativa nas emissões de material particulado por motores do ciclo Diesel. Entretanto, não será calculado o Dióxido de Enxofre (SO₂) pelo fato de não possuir os dados necessários para o cálculo de sua emissão no relatório Brasil (2014) e na descrição do veículo fornecida pelo município.

Assim, serão consideradas neste estudo as emissões de CO₂ (Emissões Globais) e CO, NO_x, HC e MP (Emissões Locais), obtidas por meio de dados do inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários para veículos automotores a diesel para caminhões de categoria leve - Peso Bruto Total \geq 6 toneladas < 10 toneladas (BRASIL, 2014). Esta definição visa reduzir as emissões e proporcionar melhorias na saúde humana, uma vez que as influências ambientais geradas pelas emissões contribuem para a ocorrência e/ou agravamento de doenças, desde problemas de visão, rinites e faringites até bronquite crônica, asma brônquica, enfisema pulmonar e câncer de pulmão (ABREU, 2005; GUABIROBA, 2013), além de reduzir o fenômeno do efeito estufa.

4.5. ETAPA 5 – PROPOR MODELO DE COLETA SELETIVA ALTERNATIVO

A utilização de triciclos na coleta seletiva já é realidade em diversas cidades no Brasil e no mundo (ASIBEY *et al.*, 2019; FACUNDO & CAPIBARIBE, 2019; PMPP/AL, 2013; PROJETO, 2015; RECICLETAS, 2018; SCHLIWA *et al.*, 2015; STERN *et al.*, 1997; ZACHARIAS & ZHANG, 2015). O modelo proposto adotará um modelo híbrido de coleta, utilizando PaP e LEVs (Ecopontos), sendo a coleta dos resíduos dos geradores realizada por triciclos, que devem transportar os materiais recicláveis até os Ecopontos distribuídos no município. O transporte dos materiais recicláveis dos ecopontos para a cooperativa será realizado pelo veículo já utilizado no modelo de coleta atual. A Figura 3 demonstra o funcionamento do modelo atualmente adotado e o modelo proposto com a utilização de triciclos.

Em outros municípios, como o de São Paulo, também é permitida a circulação de triciclos na ciclovia (COLOMBO, 2016). A prefeitura de São Paulo, conforme Athayde (2015), já utiliza os triciclos para realizar a coleta de resíduos nas ciclovias. Entretanto, conforme descrito na Etapa 1, para a viabilidade do modelo proposto é necessário considerar alguns aspectos: relevo, ciclovias, trânsito local e distância a ser percorrida. O município poderá adotar triciclos com tração mecânica e/ou elétrica, sendo questões de relevo do

município essenciais para a adoção da coleta seletiva utilizando triciclos com tração mecânica. Visando a redução máxima de emissões, serão considerados para o estudo, triciclos com tração mecânica e, devido ao relevo, adotarão o modelo de coleta proposto apenas as Bacias 01, 02 e 03 do município de Resende.

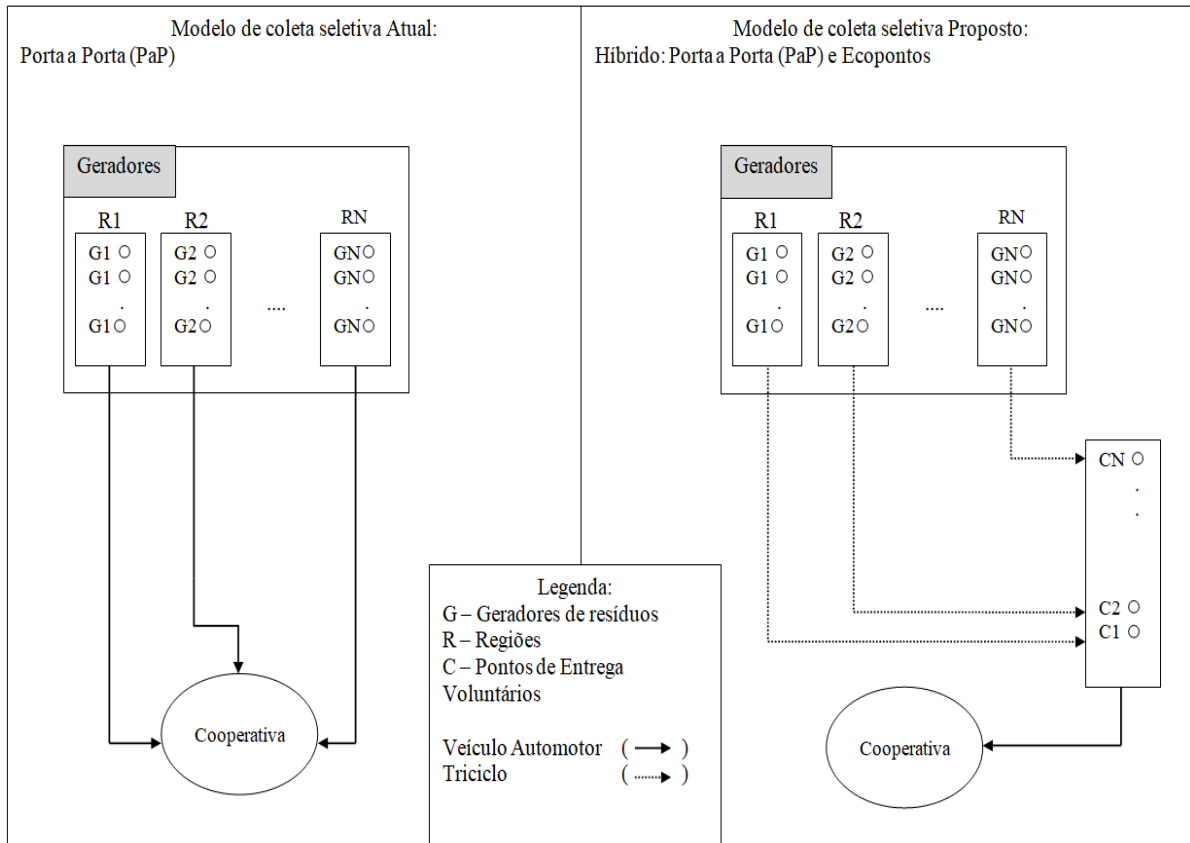


Figura 3. Modelo atualmente utilizado e modelo proposto de coleta seletiva municipal.

Fonte: Elaborado pelos autores

4.6. ETAPA 6 – COLETAR DADOS REFERENTE AO MODELO ATUALMENTE UTILIZADO E DO MODELO PROPOSTO

Faz-se necessário mensurar a quantidade de resíduos recicláveis gerados no município por Bacia. Este dado não é fornecido nos documentos do município (PMR/RJ, 2017, 2018a, 2018b, 2019). Entretanto, é fornecida a quantidade de resíduos gerada por habitante por dia (Tabela 2) e a composição dos resíduos gerados no município (Gráfico 1). Assim, o município de Resende gera 0,731 kg de resíduos por habitantes por dia e a composição é de 31,08% de resíduos recicláveis (PMR/RJ, 2019). Deste modo, são gerados 0,227 quilos de materiais recicláveis por habitante por dia.

A coleta seletiva ocorre semanalmente, passando durante a semana em todos os bairros. Desta forma, será necessário quantificar a quantidade de materiais recicláveis gerada por habitante semanalmente. Essa quantidade é de 1,589 quilos. A relação de habitantes por bacia é descrita por meio do Quadro 3, bem como a quantidade de resíduos recicláveis gerada semanalmente.

Quadro 3. Quantidade de habitantes e resíduos recicláveis gerados semanalmente nas bacias 1, 2 e 3.

Bacias	Quantidade de Habitantes	Quantidade de resíduos gerados semanalmente por habitante	Quantidade de resíduos recicláveis gerados semanalmente
Bacia 1	19.346 habitantes	1,589 kg/hab/semana	30.740,79 kg/semana
Bacia 2	21.785 habitantes		34.616,37 kg/semana
Bacia 3	20.405 habitantes		32.423,55 kg/semana

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de PMR/RJ (2017, 2018a, 2019)

As seleções das Bacias analisadas neste estudo ainda permitem um aproveitamento adequado, visto que a abrangência da coleta seletiva proposta (com a utilização de triciclos) irá atender cerca de 56% da população urbana do município. Considerando uma adesão de 40% da população, conforme o PMGIRS (PMR/RJ, 2019), a geração semanal de resíduos por bacia é demonstrada por meio do Quadro 4.

Quadro 4. Dados sintetizados utilizados.

Bacias	Quantidade de Habitantes	Quantidade de resíduos recicláveis gerados semanalmente	Taxa de Adesão	Total de resíduos recicláveis coletados semanalmente
Bacia 01	19.346 habitantes	30.740,79 kg/semana	40%	12.296,32 kg/semana
Bacia 02	21.785 habitantes	34.616,37 kg/semana		13.858,55 kg/semana
Bacia 03	20.405 habitantes	32.423,55 kg/semana		12.969,42 kg/semana

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de PMR/RJ (2017, 2018a, 2019)

Os resíduos coletados serão depositados em *big bags* sustentados pela estrutura metálica do dispositivo de acondicionamento dos LEVs. O *big bag* deve possuir o fundo fechado, abertura superior, ser provido de alças de sustentação, possuir dimensões de 90 cm x 90 cm x 120 cm (capacidade volumétrica de aproximadamente 1,0 m³) e capacidade máxima de carga de até 1.000 quilos.

Utilizando a página na Internet “*Maps & Directions*” na aba “Traçar uma Rota”, definindo como endereço a cidade de “Resende, city, Brazil”, utilizando o Tipo de Rota “Seguir Estradasa” com Modo de Deslocamento “Carro” e Visão “Map”, foi possível criar a Rota de transporte da coleta seletiva. Uma vez definidas as Bacias utilizadas no estudo (detalhamento na Etapa 1), foi inserido os pontos no mapa, passando por todas as ruas de cada bairro que compreende a Bacia selecionada. Mantendo a regularidade da coleta seletiva uma vez por semana em cada bairro do município, a Tabela 3 representa a distância percorrida semanalmente pela coleta seletiva nas Bacias 1, 2 e 3.

Tabela 3. Distância percorrida pela coleta seletiva semanalmente em Resende/RJ.

Bacias	Distância percorrida semanalmente
Bacia 01	138.620 metros
Bacia 02	112.650 metros
Bacia 03	147.800 metros
Total	399.070 metros

Fonte: Elaborado pelos autores

No modelo proposto, a coleta seletiva será realizada de forma híbrida. Os triciclos irão percorrer todas as ruas e depositar os resíduos recicláveis nos Ecopontos e, posteriormente, o veículo de coleta passa nos Ecopontos, os recolhe e retorna à cooperativa. As distâncias correspondentes ao percurso realizado pelo veículo automotor são apresentadas por meio da Tabela 4.

Tabela 4. Distância percorrida pela coleta seletiva semanalmente em Resende/RJ para retirar os resíduos dos

Ecopontos.

Bacias	Distância percorrida semanalmente
Bacia 01	17.420 metros
Bacia 02	16.950 metros
Bacia 03	8.960 metros
Total	86.660 metros

Fonte: Elaborado pelos autores

Dada a capacidade máxima de 1.000 quilos de resíduos recicláveis dos LEVs, a quantidade de LEVs por Bacia e a quantidade gerada semanalmente de resíduos, será possível apurar a quantidade necessária de coletas semanalmente para coletar os materiais recicláveis gerados por bacia. Os resultados são apresentados por meio da Tabela 5.

Tabela 5. Distância percorrida pela coleta seletiva semanalmente em Resende/RJ para retirar os resíduos dos Ecopontos.

Bacias	Quantidade de coletas semanais necessárias	Distância percorrida semanalmente pelos triciclos	Distância percorrida semanalmente pelos veículos no modelo proposto
Bacia 01	2	277.240 metros	34.840 metros
Bacia 02	2	225.300 metros	33.900 metros
Bacia 03	2	295.600 metros	17.920 metros

Fonte: Elaborado pelos autores

As distâncias percorridas por veículo automotor semanalmente pelo modelo atualmente adotado de coleta seletiva e pelo modelo proposto são elencadas na Tabela 6.

Tabela 6. Distância percorrida pela coleta seletiva semanalmente em Resende/RJ para retirar os resíduos dos Ecopontos.

Bacias	Distância percorrida por veículo semanalmente no modelo atual	Distância percorrida por veículo semanalmente no modelo proposto
Bacia 01	138.620 metros	34.840 metros
Bacia 02	112.650 metros	33.900 metros
Bacia 03	147.800 metros	17.920 metros
Total	399.070 metros	86.660 metros

Fonte: Elaborado pelos autores

Considerando os dados consolidados na Tabela 5, é possível pontuar que a distância percorrida pelo triciclo semanalmente é a mesma que a distância do veículo no modelo atual, uma vez que os triciclos irão percorrer todas as ruas dos bairros e irão depositando nos Ecopontos, que se localizam ao longo do percurso. A mudança entre o modelo atual e o proposto se dá na distância percorrida semanalmente pelo veículo automotor, que percorrerá somente o trajeto da sede da cooperativa até os LEVs reduzindo as emissões causadas pelo transporte dos resíduos.

4.7. ETAPA 7 – CÁLCULAR OS INDICADORES E MEDIDAS DE DESEMPENHO

A partir das distâncias percorridas pelo veículo de coleta e dos fatores de emissão respectivos, foi possível determinar as emissões atmosféricas de impacto global e local. No modelo atualmente utilizado, dadas as distâncias percorridas pelo veículo automotor para realizar a coleta seletiva (Tabela 3), obtém-se os seguintes valores referentes às emissões atmosféricas no Quadro 5. O Quadro 6 apresenta a quantidade de emissões gerada pelo modelo proposto no estudo.

Quadro 5. Quantidade de emissões geradas semanalmente no modelo atualmente utilizado para a coleta seletiva.

Emissões	Distância percorrida por veículo automotor semanalmente no modelo atual	Fator (g/km)	Quantidade de Emissões geradas semanalmente (kg/semana)
CO ₂ (kg)	399.070 metros	468,5	186.964,30 kg por semana
NO _x (g)		0,7710	307,68 kg por semana
NMHC (g)		0,0270	10,77 kg por semana
CO (g)		0,1200	47,89 kg por semana
MP (g)		0,0070	2,79 kg por semana

Fonte: Elaborado pelos autores

Quadro 6. Quantidade de emissões geradas semanalmente no modelo proposto para a coleta seletiva.

Emissões	Distância percorrida por veículo automotor semanalmente no modelo proposto	Fator (g/km)	Quantidade de Emissões geradas semanalmente (kg/semana)
CO ₂ (kg)	86.660 metros	468,5	40.600,21 kg por semana
NO _x (g)		0,7710	66,81 kg por semana
NMHC (g)		0,0270	2,34 kg por semana
CO (g)		0,1200	10,40 kg por semana
MP (g)		0,0070	0,61 kg por semana

Fonte: Elaborado pelos autores

A redução de emissões pela utilização do modelo proposto é apresentada por meio do Quadro 7. Em 2016, o Brasil gerou 747,1 milhões de toneladas de CO₂ (BRASIL, 2020), enquanto somente a cidade de São Paulo emite cerca de 20 milhões de toneladas de CO₂ por ano, representando cerca de 2% de todas as emissões de gases de efeito estufa do mundo (WRI BRASIL, 2018). Para efeitos comparativos, é possível citar que a redução de emissões proposta neste trabalho, representa uma redução da geração de CO₂ de 7.610,93 toneladas por ano. Como curiosidade, a quantidade necessária de triciclos no caso em estudo é de oito triciclos.

Quadro 7. Redução da quantidade de emissões geradas semanalmente.

Emissões	Quantidade de Emissões geradas semanalmente (kg/semana) pelo modelo atual	Quantidade de Emissões geradas semanalmente (kg/semana) pelo modelo proposto	Redução de emissões semanais
CO ₂ (kg)	186.964,30 kg por semana	40.600,21 kg por semana	146.364,09 kg por semana
NO _x (g)	307,68 kg por semana	66,81 kg por semana	240,87 kg por semana
NMHC (g)	10,77 kg por semana	2,34 kg por semana	8,43 kg por semana
CO (g)	47,89 kg por semana	10,40 kg por semana	37,49 kg por semana
MP (g)	2,79 kg por semana	0,61 kg por semana	2,18 kg por semana

Fonte: Elaborado pelos autores

4.8. ETAPA 8 – ANÁLISE COMPARATIVA

A estimativa de redução das emissões de CO₂ chegou a 7.610,93 toneladas com a mudança do modelo atual para o modelo proposto. Já nas emissões de efeitos locais obteve-se

uma redução de 15,03 toneladas por ano (12,52t NOx; 0,44t NMHC; 1,95t CO; 0,12t MP). Isto significa mais de 7.620 toneladas de gases de efeito estufa e gases e partículas poluentes que deixarão de ser emitidos com a utilização dos triciclos na coleta PaP no município de Resende. A redução da emissão de CO₂, principal gás de efeito estufa, é objetivo do Brasil segundo compromisso assumido em 2016 no âmbito do acordo de Paris estabelecido e aprovado por 195 países. O Brasil apresentou sua proposta de mitigação das emissões de GEEs expressa na meta de redução das emissões em 37% até 2025.

Além da redução das emissões atmosféricas, a adoção do modelo proposto gera benefícios sociais com a criação de oportunidade de trabalho para coletores e membros da cooperativa, além de facilitar o trabalho de coleta com a utilização de triciclos. Essa utilização na coleta seletiva municipal também auxilia na melhoria do tráfego urbano, uma vez que retira das ruas a circulação lenta de veículos pesados, e melhora a utilização de ciclovias. A publicidade também é um ponto importante com a utilização de triciclos, com a função de aumentar a taxa de participação da população e, conseqüentemente, aumentar a taxa de coleta de materiais recicláveis.

5. Considerações Finais

Para reduzir a utilização de veículo automotor, foi proposta neste trabalho a utilização de um modelo de coleta seletiva híbrido, no qual os resíduos são coletados por triciclos, que os armazenam em Locais de Entrega Voluntários (LEVs). Posteriormente, os veículos automotores realizam a retirada dos resíduos recicláveis dos LEVs, reduzindo em 78,28% a distância percorrida semanalmente. Foi utilizada uma metodologia de avaliação e comparação de coleta seletiva municipal em oito etapas. Com a aplicação do método, foi possível determinar o local de aplicação do estudo, a quantidade gerada de resíduos recicláveis semanalmente, a distância percorrida pelos triciclos e veículos automotores, além da análise da redução das emissões de GEE globais e locais.

Seguindo as etapas apresentadas no método, o local de aplicação do estudo foi o município de Resende no Estado do Rio de Janeiro que possui diversos méritos ambientais e em áreas da saúde como saneamento básico, coleta de resíduos sólidos com cobertura de 100% da área urbana. Entretanto, o município ainda possui um sistema de coleta seletiva com baixa adesão e uma taxa de cobertura de aproximadamente 40% do município. Para análise do município, foi adotada a setorização do município em bacias, propostas no Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Município de Resende (PMR/RJ, 2019). Devido às características de relevo, tráfego e disponibilidades de ciclovias, essenciais para a implementação do modelo proposto, foram selecionadas as Bacias 1, 2 e 3 do mencionado Plano. Utilizando os critérios descritos na metodologia foi estimada a distância percorrida pela coleta seletiva atualmente adotada e pelo modelo proposto, a quantidade gerada de resíduos recicláveis, a quantidade gerada de gases pelo transporte de resíduos e a quantidade de triciclos necessários para realizar a coleta seletiva pelo modelo proposto. O estudo demonstrou uma redução das emissões de GEE globais e emissões locais, com o destaque para o CO₂, que chegou a redução anual de 7.600 toneladas de gases que foram evitados utilizando o modelo proposto.

A utilização do modelo proposto gerou vantagens na utilização de um meio de transporte que não gera emissões e não consome energia e material fóssil para sua implementação. Entretanto, o modelo proposto apresenta alguns pontos negativos, como características necessárias no município para a utilização de triciclos na coleta seletiva. Características como relevo, trânsito e disponibilidade de ciclovias podem inviabilizar a utilização em determinadas áreas, além dos riscos de acidentes. Na Bacia 3 do município de

Resende, encontra-se o bairro comercial, onde se tem uma alta geração de resíduos. Entretanto, há uma baixa disponibilidade de ciclovias, que apesar de possuir relevo caracterizado como plano possui um tráfego de veículos mais intenso, dificultando a coleta de materiais recicláveis nestes locais. Ainda assim, o trabalho se destaca ao trazer um método de comparação de modelos de coleta seletiva, verificando o aumento percentual de medidas de sustentabilidade entre estes modelos.

A pesquisa ainda possui algumas limitações, como a estimativa de resíduos recicláveis gerados, a distância percorrida pelas vias urbanas para a roteirização da coleta seletiva, além da disponibilidade de recursos para a avaliação de mais aspectos da sustentabilidade ligada ao *triple bottom line*. Outra limitação encontrada na pesquisa é a utilização do relatório de 2014 sobre as emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários. Houve um controle maior sobre a emissão de gases nos veículos automotores rodoviários a partir de 2014.

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se avaliar outros aspectos da sustentabilidade, como por exemplo, a análise de eco-eficiência dos modelos, proposição de outro tipo de modelo alternativo para a coleta seletiva municipal, analisar outra etapa da gestão integrada de resíduos sólidos, como a geração e/ou triagem dos resíduos, bem como a aplicação de outros indicadores para a avaliação de desempenho da coleta seletiva.

Referências

- Abrelpe. (2019). *PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL 2018/2019*.
<http://abrelpe.org.br/panorama/>
- Abreu, M. L. (2005). *OCORRÊNCIA DE CHUVA ÁCIDA EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DA NATUREZA URBANAS – ESTUDO DE CASO NO PARQUE ESTADUAL DA PEDRA BRANCA – RIO DE JANEIRO - RJ* [– Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ].
<http://www.peamb.eng.uerj.br/trabalhosconclusao/2005/MauricioLoboAbreuPEAMB2005.pdf>
- Anderluh, A., Hemmelmayr, V. C., & Nolz, P. C. (2017). Synchronizing vans and cargo bikes in a city distribution network. In *Central European Journal of Operations Research* (Vol. 25, Issue 2). <https://doi.org/10.1007/s10100-016-0441-z>
- Asibey, M. O., Amponsah, O., & Yeboah, V. (2019). Solid waste management in informal urban neighbourhoods. Occupational safety and health practices among tricycle operators in Kumasi, Ghana. *International Journal of Environmental Health Research*, 29(6), 702–717. <https://doi.org/10.1080/09603123.2019.1569211>
- Athayde, E. (2015). *Triciclo usa ciclovia para tirar lixo da rua*. Mobilidade Urbana Sustentável.
<https://www.mobilize.org.br/noticias/8182/triciclo-usa-ciclovia-para-tirar-lixo-da-rua.html>
- Bartholomeu, D. B., Péra, T. G., & Caixeta-Filho, J. V. (2016). Logística sustentável: avaliação de estratégias de redução das emissões de CO₂ no transporte rodoviário de cargas. In *Journal of Transport Literature* (Vol. 10, Issue 3, pp. 15–19).
<https://doi.org/10.1590/2238-1031.jtl.v10n3a3>
- Battistella, N. (2014). *Avaliação De Modelo Computacional Para Planejamento E Otimização De Rotas De Coleta Para Catadores De Materiais Recicláveis* [Universidade

- Federal de Santa Catarina]. <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/129376>
- Bernardo, M. (2016). *Implantação de um Programa de Coleta Seletiva: Uma Pesquisa-Ação na cidade de São Lourenço, Minas Gerais*. [Universidade Federal de Itajubá]. <http://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/handle/123456789/437>
- Bernardo, M., & Lima, R. da S. (2017). 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*, 9(supl 1), 385–395. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.009.sup11.ao10>
- Borba, P. F. de S., Martins, E. M., Correa, S. M., & Ritter, E. (2018). Greenhouse gases emissions from a landfill in Rio de Janeiro. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 23(1), 101–111. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018167438>
- Brasil. (2010a). *DECRETO Nº 7.404, DE 23 DE DEZEMBRO DE 2010 - Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos*. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm
- Brasil. (2010b). *LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010 da Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos*. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm
- Brasil. (2014). *INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS POR VEÍCULOS AUTOMOTORES RODOVIÁRIOS 2013* (p. 115). Ministério do Meio Ambiente. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Brasil. (2020). *Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil - 5. ed. 2020* (p. 108). Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. https://issuu.com/mctic/docs/livro_estimativas_anuais_de_emissoes_de_gases_de_e
- Chaves, G. D. L. D., Santos Jr., J. L. dos, & Rocha, S. M. S. (2014). The challenges for solid waste management in accordance with Agenda 21: A Brazilian case review. *Waste Management and Research*, 32, 19–31. <https://doi.org/10.1177/0734242X14541987>
- Colombo, S. (2016). *O que pode e o que não pode circular nas ciclovias da cidade*. Jornal Veja São Paulo. <https://vejasp.abril.com.br/cidades/o-que-pode-e-o-que-nao-nas-ciclovias-da-cidade/>
- Conke, L. S., & Nascimento, E. P. do. (2018). A coleta seletiva nas pesquisas brasileiras: uma avaliação metodológica. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 10(1), 199–212. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.010.001.ao14>
- Corbo, R., & Glaus, M. (2019). Design of material transportation systems for sustainability. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 75(August), 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.08.014>
- Cunha, C. N. L. (2017). ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE DESTINAÇÃO DO ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA: DESCARTE EM ESGOTO SANITÁRIO OU PRODUÇÃO DE BIODIESEL? [Universidade Federal Fluminense]. In *Universidade Federal Fluminense*. <https://app.uff.br/riuff/handle/1/6460>
- Facundo, M., & Capibaribe, Y. (2019). *Catadores de material reciclável em Fortaleza receberão triciclos da Prefeitura, a partir do próximo ano*. G1.

<https://g1.globo.com/ce/ceara/noticia/2019/12/03/catadores-de-material-reciclavel-em-fortaleza-receberao-triciclos-da-prefeitura-a-partir-do-proximo-ano.ghtml>

- Ferri, G. L., & Chaves, G. D. L. D. (2014). Eficiência energética dos resíduos sólidos por meio da coleta seletiva e processos de recuperação. *Latin American Journal of Energy Research*, 1(2), 29–38. <http://periodicos.ufes.br/lajer/article/download/10104/8616>
- Guabiroba, R. C. da S. (2013). *PROCEDIMENTO PARA DEFINIÇÃO DE CONSÓRCIOS PÚBLICOS RESPONSÁVEIS PELA COLETA DE RESÍDUOS RECICLÁVEIS DOMICILIARES COM BASE EM MEDIDAS DE ECOEFICIÊNCIA* [UFRJ/ COPPE]. http://www.pet.coppe.ufrj.br/images/documentos/teses/2013/Tese_RicardoCesardaSilvaGuabiroba_compressed.pdf
- IBGE, I. B. e G. e E. (2020). *Resende*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/resende/panorama>
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. (2017). *Climate Change 2014*.
- IPEA. (2011). Emissões Relativas De Poluentes Do Transporte Motorizado De Passageiros Nos Grandes Centros Urbanos Brasileiros. *Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada*, 42. http://www.en.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_1606.pdf
- Leal Junior, I. C. (2010). Método De Escolha Modal Para Transporte De Produtos Perigosos Com Base Em Medidas De Ecoeficiência. *Tese de Doutorado Apresentada Ao Programa de Pós-Graduação Em Engenharia de Transportes, COPPE, Da Universidade Federal Do Rio de Janeiro, Como Parte Dos Requisitos Necessários à Obtenção Do Título de Doutor Em Engenharia de Transportes.*, 202.
- Mannarino, C. F., Ferreira, J. A., & Gandolla, M. (2016). Contribuições para a evolução do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil com base na experiência Européia. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 21(2), 379–385. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522016146475>
- Manuel, P., Berríos, R., Estadual, U., Unesp, P., & Claro, R. (2013). Dificuldades para aplicar a Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil. *Caderno de Geografia*, 23(39), 1–12.
- Martin, J. L., Maris, V., & Simberloff, D. S. (2016). The need to respect nature and its limits challenges society and conservation science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(22), 6105–6112. <https://doi.org/10.1073/pnas.1525003113>
- Melo, S., & Baptista, P. (2017). Evaluating the impacts of using cargo cycles on urban logistics: integrating traffic, environmental and operational boundaries. *European Transport Research Review*, 9(2). <https://doi.org/10.1007/s12544-017-0246-8>
- MMA. (2020). *Poluentes Atmosféricos*. Ministério Do Meio Ambiente. https://doi.org/10.21579/issn.18081983_2019_v27_art23
- Paul, K., Chattopadhyay, S., Dutta, A., Krishna, A. P., & Ray, S. (2019). A comprehensive optimization model for integrated solid waste management system: A case study. *Environmental Engineering Research*, 24(2), 220–237. <https://doi.org/10.4491/EER.2018.132>

- PMPP/AL, P. M. de P. P. (2013). *Cooperativa de Catadores de Recicláveis é contemplada com doação de bicicleta para auxiliar o serviço*.
<https://www.eparaguacu.sp.gov.br/noticia/3394/cooperativa-de-catadores-de-reciclaveis-e-contemplada-com-doacao-de-bicicleta-para-auxiliar-o-servico/>
- PMR/RJ, P. M. de R. (2015). *Plano de Mobilidade Urbana 2015* (p. 71). Secretaria de Arquitetura e Urbanismo de Resende.
<http://resende.rj.gov.br/images/PlanoDeMobilidadePMR.pdf>
- PMR/RJ, P. M. de R. (2017). *PRODUTO 02 - CARACTERIZAÇÃO MUNICIPAL* (p. 115). Prefeitura Municipal de Resende/RJ.
https://a3d16252-d332-4906-ab85-90a686fa97ca.filesusr.com/ugd/91cc6d_96af6e5bb994409aa1bf14c7fa07f036.pdf
- PMR/RJ, P. M. de R. (2018a). *PRODUTO 03 - DIAGNÓSTICO MUNICIPAL PARTICIPATIVO* (p. 348). Prefeitura Municipal de Resende/RJ.
<https://resendepmgirs.wixsite.com/pmgirs/downloads>
- PMR/RJ, P. M. de R. (2018b). *PRODUTO 04 - PROGNÓSTICO* (p. 945). Prefeitura Municipal de Resende/RJ.
https://drive.google.com/file/d/1ty9AUMGF-rNTLSMyp0QVg2UHIFXm6H_w/view
- PMR/RJ, P. M. de R. (2019). *Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos* (p. 376). Prefeitura Municipal de Resende/RJ.
https://a3d16252-d332-4906-ab85-90a686fa97ca.filesusr.com/ugd/91cc6d_4f253ad70c8647069ccfc17ad4ccf454.pdf
- PROJETO. (2015). *PROJETO Ecobike utiliza bicicletas na coleta de lixo reciclável em Recife*. <http://glo.bo/1CyVALh>
- RECICLETAS. (2018). *Uso de ' RECICLETAS ' reforça a coleta seletiva de lixo em Santos (SP)*.
<https://www.mtbbrasil.com.br/2018/02/07/uso-de-recicletas-reforca-a-coleta-seletiva-d-e-lixo-em-santos-sp/>
- Ribeiro, H., Maria, W., Günther, R., & Jacobi, P. R. (2014). Impactos Da Política Nacional De Resíduos Sólidos. *Ambiente & Sociedade*, v. XVII(n. 3 n), 259–278.
<https://doi.org/10.1590/S1414-753X2014000300015>
- Romani, A. P. de;, & Segala, K. (2014). *Planos de Resíduos Sólidos - Desafios e Oportunidades no Contexto da Política Nacional de Resíduos Sólidos* (p. 98). Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM.
- Schliwa, G., Armitage, R., Aziz, S., Evans, J., & Rhoades, J. (2015). Sustainable city logistics - Making cargo cycles viable for urban freight transport. *Research in Transportation Business and Management*, 15, 50–57. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2015.02.001>
- Soares, T. C., & Cunha, D. A. da. (2019). Emissões de gases de efeito estufa e eficiência ambiental no Brasil. *Nova Economia*, 29(2), 429–458.
<https://doi.org/10.1590/0103-6351/3795>
- Stern, J., Southgate, D., & Strasma, J. (1997). Improving garbage collection in Latin America's slums: Some lessons from Machala, Ecuador. *Resources, Conservation and*

- Recycling*, 20(3), 219–224. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(97\)00011-6](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(97)00011-6)
- UNFCCC. (2011). *AM0090 - Modal shift in transportation of cargo from road transportation to water or rail transportation* (pp. 1–16). [https://cdm.unfccc.int/filestorage/8/P/X/8PXTOWHJQ4DEV6327S9MFZBAN5IGL0/Modal shift in transportation of cargo from road transportation to water or rail transportation.pdf?t=UmN8cWdwcZf3fDBrm7QCdcWzTKPZWQ3Xr0f9](https://cdm.unfccc.int/filestorage/8/P/X/8PXTOWHJQ4DEV6327S9MFZBAN5IGL0/Modal%20shift%20in%20transportation%20of%20cargo%20from%20road%20transportation%20to%20water%20or%20rail%20transportation.pdf?t=UmN8cWdwcZf3fDBrm7QCdcWzTKPZWQ3Xr0f9)
- Wanke, P., & Fleury, P. F. (2006). *Transporte de cargas no Brasil: estudo exploratório das principais variáveis relacionadas aos diferentes modais e às suas estruturas de custos. Estrutura e Dinâmica Do Setor de Serviços No Brasil*. https://www.en.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/livros/capitulo_12_transportes.pdf
- World Bank. (2020). *CO2 emissions (kt)*. World Bank Group. <https://www.worldbank.org/>
- WRI Brasil. (2018). *Dados de emissões de CO2 do Brasil mostram oportunidades para nossas cidades e florestas*. <https://wribrasil.org.br/en/blog/2018/11/dados-de-emissões-de-co2-do-brasil-mostram-opportunidades-para-nossas-cidades-e>
- Zacharias, J., & Zhang, B. (2015). Local distribution and collection for environmental and social sustainability - tricycles in central Beijing. *Journal of Transport Geography*, 49, 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.10.003>
- Zhang, J., Xing, Z., & Wang, J. (2016). Analysis of CO2 Emission Performance and Abatement Potential for Municipal Industrial Sectors in Jiangsu, China. *Sustainability (Switzerland)*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/su8070697>

Recebido em: 15/11/2020

Aceito em: 24/01/2022

Endereço para correspondência:
Nome Leonardo Augusto Silva Oliveira
Email: leosilvaoliveira@hotmail.com



Esta obra está licenciada sob uma [Licença Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)