

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE DE  
RIBEIRÃO PRETO

DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO DE ORGANIZAÇÕES

**Fatores para o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil em busca da  
eficiência econômica, social e ambiental**

DIEGO DE FREITAS ESPINOZA

RIBEIRÃO PRETO

2022

Prof. Dr. Carlos Gilberto Carlotti Junior  
Reitor da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Fabio Augusto Reis Gomes  
Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto

Prof. Dr. João Luiz Passador  
Chefe do Departamento de Administração

Profa. Dra. Janaina de Moura Engracia Giraldi  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Administração de Organizações

“Versão Corrigida. A original encontra-se disponível na FEA-RP/USP”

DIEGO DE FREITAS ESPINOZA

**Fatores para o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil em busca da  
eficiência econômica, social e ambiental**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração de Organizações da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientadora: Profa. Dra. Perla Calil Pongeluppe  
Wadhy Rebehy

RIBEIRÃO PRETO

2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Espinoza, Diego de Freitas

Fatores para o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil em busca da eficiência econômica, social e ambiental. Ribeirão Preto, 2022.

106p. : 30cm

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração das Organizações da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo. Área de concentração: administração de organizações

Orientadora: Rebehy, Perla Calil Pongeluppe Wadhy

1. resíduos sólidos urbanos. 2. coleta seletiva. 3. gestão pública. 4. avaliação

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Espinoza, Diego de Freitas.

Título: Proposta de modelo de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil: em busca da eficiência econômica, social e ambiental.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração de Organizações da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovado em: \_\_\_\_\_

Banca examinadora

Prof. Dr. \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_



## **DEDICATÓRIA**

A querida Olga, de abraços sempre gentis, que tanta falta fazem.





## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade da São Paulo, universidade pública que me permitiu traçar todo meu caminho na vida acadêmica, inclusive quando decidi escolher um novo caminho a trilhar, espero que outras pessoas tenham a mesma oportunidade.

A meus filhos, Paco e Rafael, que me fazem reconhecer e entender meus limites e a partir deles tomar impulso à frente. Amo vocês.

A meus pais, pelo empenho, por vezes desconfortável, em me permitir experimentar e fazer escolhas. Amo vocês

A Ale, parceira de longa jornada, fonte de provocação e inspiração sem tamanho. Que a jornada à frente seja ainda mais longa e instigante, trazendo alegrias, descobertas e exercício de amor.

A meu irmão Rodrigo, que nunca me deixou andar sozinho, somente quando foi minha vontade.

A minhas sobrinhas Naia e Julia, por extensão a Gladys e Valéria, por tornarem meu mundo mais rico e diverso.

A profa. Perla, que sempre acolheu as diferentes tentativas de realizar esse processo, até o momento que deu certo. Obrigado pela paciência e pela orientação.

Ao prof. Salgado, pelas contribuições valiosas durante todo esse trabalho.

Aos membros do GREFIC, pela parceria e generosidade nas trocas de aprendizado, tornando esse processo menos solitário.

Por fim agradeço a **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior** (CAPES), pois o presente trabalho foi realizado com apoio da financeiro dessa instituição - Código de Financiamento 001" (Portaria N° 206, de 04/09/2018).



## RESUMO

**ESPINOZA, D.F.** Fatores para o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil em busca da eficiência econômica, social e ambiental.

Em especial a partir do século 20, observa-se aumento da preocupação com diferentes dimensões relacionadas à gestão de resíduos como: adequada disposição final, reaproveitamento de material, amplo atendimento à população e inserção de pessoas em situações de vulnerabilidade no processo. Diferentes estudos variam na estratégia de análise a respeito do tema, passando por olhar para os agentes envolvidos na cadeia a partir de uma aproximação legal ou institucional, para a avaliação de desempenho de diferentes atores, sejam eles do poder público, sociedade civil ou entes privados. Ainda assim, os autores apontam a dificuldade de integralizar abordagens distintas para um único modelo aplicável em diferentes contextos. O presente estudo tem como objetivo identificar fatores para o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil para a eficiência econômica, social e ambiental. Para tanto foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos: propor um modelo conceitual de avaliação da eficiência da gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) dos municípios; identificar fatores explicativos que farão parte do Modelo e investigar os componentes da gestão de resíduos, em linha com a proposta de recuperação de resíduos do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES). Esse estudo é composto por duas etapas distintas e complementares, com uso de regressão linear múltipla para identificação de fatores e análises posteriores das relações existentes as diferentes dimensões. Os objetivos foram alcançados, uma vez que o modelo proposto abordou as diferentes dimensões, em linha com o existente na literatura, além de permitir identificar pontos de sinergia e divergência entre fatores influenciando diferentes dimensões. A partir desses achados, é possível afirmar que o estudo corrobora a literatura, ao apontar a complexidade existente na gestão de RSU nos municípios, além de identificar diferentes impactos das variáveis de influência trazidas pelas regressões. Apesar da complexidade existente nesse objeto de estudo, algumas linhas de recomendação podem ser enxergadas de maneira clara a partir dos resultados.

Palavras-chave: Resíduos sólidos urbanos. Coleta seletiva. Gestão pública. Avaliação de eficiência.



## ABSTRACT

**ESPINOZA, D.F.** Factors for urban solid waste management in Brazil in search of economic, social and environmental efficiency.

Especially from the 20th century onwards, there has been an increase in concern with different dimensions related to waste management, such as: adequate final disposal, reuse of material, extensive service to the population and inclusion of people in vulnerable situations in the process. Different studies vary in the analysis strategy on the subject, looking at the agents involved in the chain from a legal or institutional approach, to evaluating the performance of different actors, whether they are public authorities, civil society or private entities. . Even so, the authors point out the difficulty of integrating different approaches into a single model applicable in different contexts. The present study aims to identify factors for the management of urban solid waste in Brazil for economic, social and environmental efficiency. To this end, the following specific objectives were established: to propose a conceptual model for evaluating the efficiency of municipal solid waste (MSW) management in municipalities; identify explanatory factors that will be part of the Model and investigate the components of waste management, in line with the waste recovery proposal of the National Solid Waste Plan (PLANARES). This study consists of two distinct and complementary stages, using multiple linear regression to identify factors and subsequent analyzes of the existing relationships between the different dimensions. The objectives were achieved, since the proposed model addressed the different dimensions, in line with what exists in the literature, in addition to allowing the identification of points of synergy and divergence between factors influencing different dimensions. Based on these findings, it is possible to state that the study corroborates the literature, by pointing out the existing complexity in MSW management in the municipalities, in addition to identifying different impacts of the influence variables brought about by the regressions. Despite the complexity that exists in this object of study, some lines of recommendation can be clearly seen from the results.

Keywords: urban solid waste, selective collection, public management, evaluation



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Hierarquia na gestão de RSU e economia circular.....	30
Figura 2: Taxas de cobertura de coleta domiciliar em relação a população urbana. ....	31
Figura 3. Resumo metodológico do trabalho .....	45
Figura 4. Escolha da técnica estatística .....	48
Figura 5. Etapas para definição da base final dos municípios a serem avaliados .....	50
Figura 6. Definição da amostra do estudo.....	55
Figura 8. Municípios com e sem coleta seletiva.....	56
Figura 9. Distribuição em rede dos indicadores e variáveis relevantes.....	77
Figura 10. Distribuição dos municípios da amostra e faixas de recuperação.....	82
Figura 11. Distriuição de população municipal na estratificação dos municípios .....	84
Figura 12. Distriuição de população urbana na estratificação dos municípios. ....	85
Figura 13. Distriuição de do custo com coleta e despesa <i>per capita</i> na estratificação dos municípios. ....	86
Figura 14. Distriuição do volume de coleta seletiva na estratificação dos municípios. .	86
Figura 15. Distriuição da taxa de cobertura da coleta tradicional na estratificação dos municípios. ....	89
Figura 16 Distriuição do volume de coleta seletiva na estratificação dos municípios...	90
Figura 17. Distriuição do número de empregados na coleta na estratificação dos municípios. ....	90





## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Municípios com coleta seletiva no Brasil.....	32
Tabela 2: Perfil socioeconômico dos catadores no Brasil, adaptado de IBGE (2012)...	33
Tabela 3: Participação de catadores na coleta seletiva no Brasil .....	34
Tabela 4. Disposição final de resíduos sólidos no Brasil .....	35
Tabela 5. Natureza jurídica da gestão de RSU no Brasil – SNIS 2018.....	53
Tabela 6. Natureza jurídica da gestão de RSU no Brasil e distribuição por faixa populacional – SNIS 2018 .....	54
Tabela 7. Aspectos gerais da gestão de RSU no Brasil – SNIS 2018 .....	54
Tabela 8. Resultados da regressão linear múltipla .....	63
Tabela 9. Fatores explicativos Y1 .....	64
Tabela 10. Fatores explicativos Y2 .....	66
Tabela 11. Fatores explicativos Y3 .....	68
Tabela 12. Fatores explicativos Y4 .....	70
Tabela 13. Fatores explicativos Y5 .....	71
Tabela 14. Distribuição das variáveis relevantes no processo de gestão de RSU.....	74
Tabela 15. Metas estabelecidas pelo PLANARES.....	81
Tabela 16. Faixas de recuperação propostas pelo estudo .....	81
Tabela 17. Distribuição dos municípios por faixa de recuperação.....	82
Tabela 18. Estratificação dos municípios na dimensão ambiental (Y1).....	83
Tabela 19. Estratificação dos municípios na dimensão social (Y2).....	88
Tabela 20. Estratificação dos municípios na dimensão econômica (Y3).....	92
Tabela 21. Estratificação dos municípios na dimensão econômica - custo proporcional da coleta seletiva (Y4).....	93
Tabela 22. Estratificação dos municípios na dimensão econômica - custo proporcional da recuperação ambiental (Y3) .....	94



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Atores, fontes geradoras, resíduos produzidos e disposição finais dos RSU	28
Quadro 2: Elementos ambientais existentes na literatura .....	37
Quadro 3. Elementos sociais existentes na literatura .....	39
Quadro 4. Elementos econômicos existentes na literatura .....	40
Quadro 5. Comparação de políticas de gerenciamento de RSU em diferentes países ...	41
Quadro 6. Orientações para a evolução da gestão de RSU .....	42
Quadro 7. Resumo metodológico do trabalho .....	52
Quadro 8. Definição de premissas do modelo conceitual .....	57
Quadro 9. Indicadores dos modelos de eficiência .....	58
Quadro 7. Variáveis utilizadas nas regressões do estudo .....	60
Quadro 10. Composição Y1 - dimensão ambiental, percentual de recuperação de material coletado seletivamente.....	63
Quadro 11. Composição Y2 - dimensão social, abrangência da política pública .....	66
Quadro 12. Composição Y3 - dimensão econômica, relação custo-benefício das práticas municipais.....	68
Quadro 13: Composição de Y4– custo proporcional da coleta seletiva .....	70
Quadro 14. Composição de Y5 - Custo da coleta seletiva proporcional à recuperação.	71



## **LISTA DE ABREVIATURAS**

Abrelpe – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

DEA - Análise Envoltória de Dados

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

PNAD – Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílios

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento



## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	25
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	28
2.1	Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.....	28
2.1.1	Coleta.....	30
2.1.2	Triagem.....	32
2.1.3	Destinação de Resíduos.....	34
2.2	Políticas públicas de governança municipal e conceitos de sustentabilidade..	36
2.2.1	Arcabouços legais no mundo e no Brasil.....	41
3	METODOLOGIA.....	45
3.1	Etapa quantitativa.....	46
3.2	Etapa qualitativa.....	51
4	DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS.....	53
4.1	Caracterização da amostra.....	53
4.2	Modelo conceitual para de gerenciamento municipal de resíduos sólidos urbanos (RSU) a partir dos pilares da sustentabilidade.....	56
4.3	Fatores explicativos do modelo para o gerenciamento municipal de RSU eficiente e sustentável.....	59
4.3.1	Y1 – dimensão ambiental, percentual de recuperação de material coletado seletivamente.....	63
4.3.2	Y2: dimensão social, abrangência da política pública.....	65
4.3.3	Y3 – dimensão econômica, relação custo-benefício das práticas municipais.....	67
4.3.4	Y4 – custo proporcional da coleta seletiva.....	70
4.3.5	Y5 – Custo da coleta seletiva proporcional à recuperação.....	71
4.3.6	Relações entre regressões.....	73
4.4	O gerenciamento municipal de RSU nos diferentes níveis de recuperação de recicláveis.....	80
5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	96
6	CONCLUSÕES.....	102

7	BIBLIOGRAFIA.....	103
8	Anexos.....	113



## 1 INTRODUÇÃO

Há registros de sistemas públicos de atenção a resíduos ao menos desde os tempos do império romano, com foco em promover o distanciamento físico entre a mancha urbana e seus habitantes e os resíduos gerados pelas atividades desenvolvidas, Contudo a partir da revolução industrial e do crescimento acelerado das manchas urbanas, ocorre um aumento no volume de geração de resíduos e importante alteração na composição, em especial com a parcela de resíduos que não são decompostos por processos biológicos (biodegradáveis) (WORLD BANK, 2018).

O processo global de urbanização acelerada, em especial após a segunda guerra mundial, trouxe consequências negativas como degradação da terra e fontes de água, mudanças climáticas (ŠOMPLÁK *et al.*, 2019) ameaças à biodiversidade e segurança alimentar (BENNICH *et al.*, 2021).

A partir do século 21, há aumento da preocupação com outras dimensões relacionadas à gestão de resíduos, como a adequada disposição final, reaproveitamento de material, além de questões sociais envolvidas como amplo atendimento à população e inserção de pessoas em situações de vulnerabilidade no processo (WORLD BANK, 2018).

Nesse contexto, uma abordagem sistêmica e integrada do desenvolvimento de áreas urbanas pode apresentar soluções importantes para os desafios existentes e futuros (GUTBERLET, 2015; CAMPOS, 2012), a geração de resíduos sólidos, proveniente do consumo de bens de consumo; e consequente descarte inadequado (MENDES *et al.*, 2013) são um dos mais importantes e complexos (BHAWAL MUKHERJI *et al.*, 2016).

No início do século XXI, o governo japonês propôs a política para abordagem do problema de gestão de resíduos chamada de “sound material cycle Society”, com objetivo de diminuir o consumo de matéria-prima, bem como a pressão ambiental decorrente do consumo e descarte de materiais (MORIGUCHI, 2007).

Em 2008, União Europeia propôs a “hierarquia de gestão”, a partir da ampliação do conceito dos 3Rs (GIEZEN, 2008). Tal abordagem embasou a Política Nacional de Resíduos Sólidos em 2010, considerando a redução da geração, adequado manejo dos resíduos sólidos, responsabilidade compartilhada e, por fim sua correta destinação final (TONETO JR; SAIANI; DOURADO, 2014).

Como qualquer problema de causas multifatoriais, a interação de diferentes fatores, como modelo de produção linear, consumo de descartáveis, obsolescência, crescimento econômico, urbanização acelerada, adiciona camadas de complexidade à gestão de resíduos sólidos (MADDEN *et al.*, 2019; HUANG, 2020).

Atualmente, a literatura aponta diferentes fatores que permitem explorar a relação entre um sistema de gestão de resíduos deficiente e problemas ambientais e de saúde, apontado o crescimento urbano acelerado, como agravante os impactos ambientais (FERRONATO; TORRETTA, 2019).

Nesse contexto, é possível entender que existe dois momentos na gestão de resíduos: um anterior ao descarte, quando se avalia a produção e hábitos de consumo da população, o que envolve os três primeiros conceitos de repensar, recusar e reduzir; e um segundo momento a partir do descarte do material, desencadeando o processo de coleta, tratamento, disposição final ensejados pelos conceitos de reutilizar e reciclar. Esse movimento de ciclo fechado não aponta o aterro sanitário como sendo uma das soluções, embora no Brasil ainda essa seja a forma presente. A própria construção da PNRS permite observar a complexidade do tema, partindo da relação entre desenvolvimento, consumo e geração de resíduos; desenvolvimento das cadeias globais, criação de métodos e parâmetros para gestão sistêmica e por fim a insuficiência da internalização de custos econômicos como ferramenta de diminuição ou compensação de impactos (TONETO JR; SAIANI; DOURADO, 2014).

A literatura a respeito da gestão de resíduos vem apontando continuamente para um aumento na preocupação com um olhar menos linear para a cadeia de resíduos, considerando cada vez mais alternativas entre a geração e a disposição final, considerando inclusive a redução do consumo ( LAHN, 2021).

É possível notar que abordagens dos estudos variam na estratégia de análise, passando por olhar para os agentes envolvidos na cadeia (SANTIAGO & DIAS, 2012); a partir de uma aproximação legal ou institucional (SILVA *et al.*, 2015); ou a avaliação de desempenho de diferentes atores, sejam eles do poder público, sociedade civil ou entes privados (SAPHORES e NIXON, 2014; BABAYEMI *et al.*, 2009). Ainda assim, diferentes autores apontam a dificuldade de integralizar diferentes abordagens e temas para um único modelo aplicável em diferentes contextos (SOLTANI *et al.*, 2015; GUERRERO *et al.*, 2013; PLATA-DIÁZ *et al.*, 2014).

O presente estudo tem como objetivo geral identificar **fatores para o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil para a eficiência econômica, social e ambiental.**

Para tanto foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

1. Propor um modelo conceitual para avaliação da eficiência da gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) dos municípios;
2. Identificar fatores explicativos que farão parte do Modelo para o gerenciamento de RSU no Brasil;

3. Investigar os componentes da gestão de resíduos, em linha com a proposta de recuperação de resíduos do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES).

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos

Assim como no resto do mundo, no cenário brasileiro o desenvolvimento econômico se deu ao lado de um processo acelerado de urbanização, aumento da classe média, aumento da renda média e aumento na geração de resíduos (CAMPOS, 2012). O crescimento da geração de resíduos sólidos tem sido superior a taxa de crescimento populacional, entre 2013 e 2014, por exemplo, as taxas foram, respectivamente de 2,7% e 0,9% (KUWAHARA, 2014).

Dentro dos desafios com gestão dos RSU no Brasil pode-se estacar o custo existente com os serviços de coleta, destinação e disposição dos resíduos. Os recursos aplicados na limpeza urbana e manejo dos RSU no ano de 2021 chegaram a R\$ 27,3 bilhões, ou cerca de R\$ 10,75 por habitantes por mês na média do Brasil, com esse valor chegando a R\$ 13,82 na região sudeste e sendo observado o menor valor na região centro-oeste, com R\$ 6,75 (ABRELPE, 2020).

Em estudo que analisa dados de diferentes países como Brasil, Turquia e Botsuana, que possuíam renda *per capita* entre US\$3.160 e US\$4.630, observou-se que eles produzem entre 69% e 93% de matéria orgânica em seus resíduos sólidos; já países tidos como desenvolvidos, como Estados Unidos e Japão, com renda *per capita* entre US\$29.240 e US\$32.350, produzem 23,8% e 42,3% de matéria orgânica em seus resíduos respectivamente (CABRAL, 2007).

Sendo o Brasil um país de renda *per capita* relativamente baixa, com perspectiva de retomada do crescimento econômico nos próximos anos é possível estimar um aumento na quantidade de resíduos recicláveis gerados.

A destinação inadequada, associada às deficiências de controle nos processos de gestão de resíduos, tem gerado enormes problemas ambientais como contaminação de solo e águas subterrâneas e a criação de um ambiente propício a disseminação de vetores de doenças como a dengue, entre outros (SAIANI; TONETO JR, 2014).

A classificação dos resíduos, apresentada anteriormente, é fundamental para a destinação adequada de cada um dos diferentes tipos de resíduos e rejeitos, o quadro 1 sistematiza as principais opções existentes e adotadas no cenário nacional.

**Quadro 1.** Atores, fontes geradoras, resíduos produzidos e disposição finais dos RSU.

Atores	Fonte	Resíduos produzidos	Disposição final
Domiciliar	Residências, empresas, escolas	Sobras de alimentos Produtos deteriorados Lixo de banheiro Lixo seco	Aterro sanitário Central de triagem Central de compostagem Lixão

Comércio	Bares Comércios Empresas	Embalagens Sobras de alimentos	Aterro sanitário Central de triagem Central de compostagem Lixão
Limpeza urbana	Varrição Podas	Restos vegetais Lixo seco	Aterro sanitário Central de triagem Central de compostagem Lixão
Serviços de Saúde	Hospitais Clínicas Laboratórios	Grupo A – biológicos: sangue, tecidos, vísceras, resíduos de análises clínicas e outros Grupo B – químicos: lâmpadas medicamentos vencidos e interditados, termômetros, objetos cortantes e outros Grupo C – radioativos Grupo D – comuns; não contaminados; papéis, plásticos, vidros, embalagens e outros	Incineração Lixão Aterro sanitário Vala séptica Micro-ondas Autoclave Central de triagem de recicláveis
Construção Civil	Obras Reformas	Madeira, cimento blocos/tijolos, tinta, metal, etc.	

Fonte: Elaborado pelo autor - Adaptado de Besen (2011).

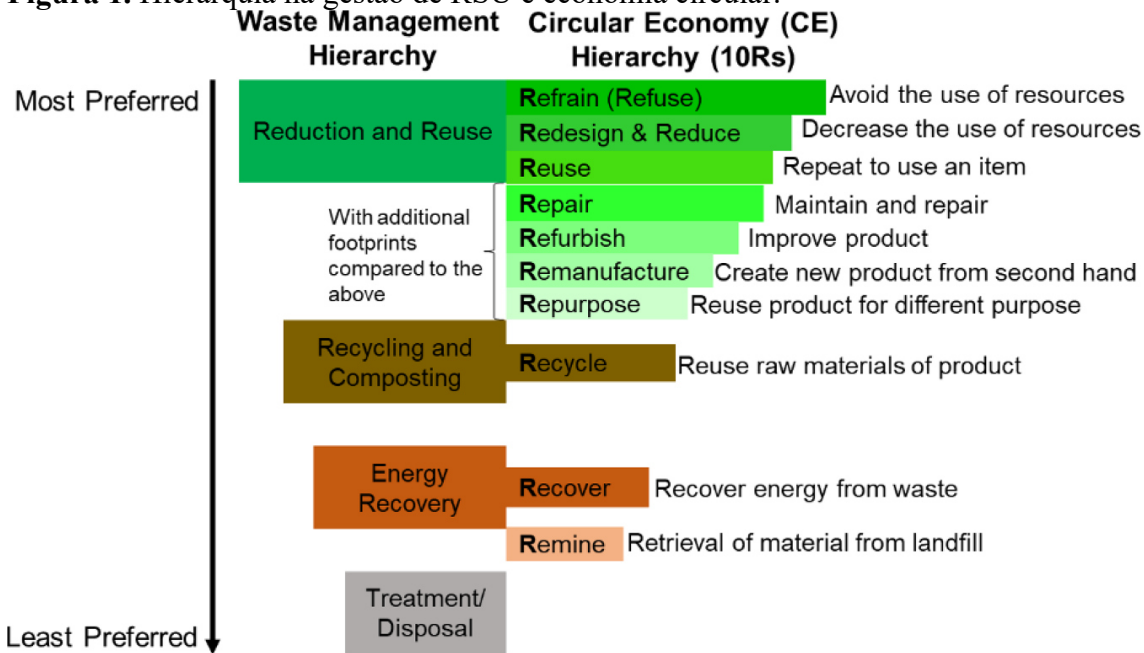
Todas as cidades enfrentam, em maior ou menor intensidade, o desafio de dar a destinação e em disposição adequada aos resíduos gerados pelas atividades cotidianas de nossa sociedade. Segundo dados presentes no relatório Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019 da ABRELPE, do total de resíduos gerados no Brasil 92% (ou cerca de 72,5 milhões de toneladas) foram recolhidos nos pontos de geração (residências, comércios, prédios públicos etc.). Dessa forma, cerca de 6,5 milhões de toneladas (8% do total) sequer foram recolhidos, ficando dispostos no ambiente, ou sendo coletados de outras formas. A taxa de população urbana com coleta regular é bastante alta, com média de 98,8% no país. Já com relação à coleta seletiva, os dados referentes à quantidade de municípios que executam algum tipo de ação relacionada a coleta seletiva são bastante inconstantes nas diferentes fontes sobre o tema. Mesmo com diferentes valores observados não parece existir uma tendência de aumento nos municípios que apontam a existência de coleta seletiva, independente da metodologia utilizada para essa análise (ABRELPE, 2019).

No artigo 2º da lei conhecida como Lei do Saneamento - Lei Federal 11.445 de 2007 (BRASIL, 2007), foi definido como limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, o conjunto de infraestruturas, atividades e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final do lixo doméstico e do lixo originado da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas.

Os serviços de coleta de lixo possuem altos custos para os municípios, seja quando terceirizados, seja com atuação direta do ente municipal (CHERFEM, 2014). Uma parcela significativa dos municípios (59,7%) não cobra qualquer taxa de limpeza urbana e mesmo entre aqueles que as cobram, tais taxas cobrem não mais que 41% das despesas totais (SNIS, 2021).

A gestão de resíduos sólidos urbanos tem se modificado ao longo dos tempos, saindo de uma preocupação inicial de distanciamento dos resíduos, para incorporação de princípios de economia circular, passando pela incorporação de diferentes estratégias entre esses extremos, como redução de consumo, reaproveitamento, reciclagem, entre outras (STANISLAUS, 2019; REIKE *et al.*, 2018; LAHN, 2021).

**Figura 1.** Hierarquia na gestão de RSU e economia circular.



Fonte: Elaborado pelo autor, com base em Stanislaus (2019), Reike *et al.* (2018) e Lahn (2021).

### 2.1.1 Coleta

A taxa de cobertura da população urbana com coleta regular, isto é, ao menos uma vez na semana é bastante alta, com média de 98,7%. A região com maior taxa é o Sudeste com 99,4%, enquanto o Norte apresenta a menor taxa (96,2%), segundo dados do SNIS de 2021.

Municípios menores, com população menor que 30mil habitante, tem uma taxa de cobertura de 97,4%, enquanto municípios com população entre 250 mil e 1 milhão apresentam taxas de 99,3% (SNIS, 2017). É possível argumentar, diante desse cenário, que os principais desafios referentes a gestão de resíduos sólidos atualmente, para as manchas urbanas, se encontram na melhoria da eficiência dos processos, não na oferta do serviço de coleta a população.

**Figura 2:** Taxas de cobertura de coleta domiciliar em relação a população urbana.



Fonte: SNIS (2021).

De maneira simplificada podemos estabelecer ao menos quatro tipos de coletas, que são utilizadas conforme a natureza dos resíduos, do gerador e de outros elementos de contexto. A coleta convencional recolhe os resíduos domiciliares, comerciais e públicos sem que haja uma prévia segregação durante o descarte, é a opção mais utilizada no Brasil. A coleta seletiva recolhe os resíduos secos domiciliares, comerciais e públicos, contando para isso, com a prévia segregação durante o descarte. Coleta em contêineres acontece em áreas específicas, podendo ter seu recolhimento feito de maneira mecânica ou manual; nesses casos, os moradores levam os resíduos produzidos até o local onde o container está alocado. Coleta d'olho é aquela que recolhe os resíduos provenientes de algum evento ou feira, realizado pelo município (PEREIRA, 2013).

No Brasil a coleta é realizada, em quase sua totalidade nos municípios, de forma direta, chamada porta a porta, com a retirada dos resíduos diretamente em cada uma das residências por meio de um caminhão. Esse índice atinge, para o ano de 2017, 95,7% das residências, em

média no Brasil, sendo a região Sul a que apresenta maior índice (98%) e a região Nordeste o menor índice entre as regiões, com 92,3%. A coleta porta a porta é realizada através de grandes veículos compactadores ou catadores com seus carrinhos com tração humana, em especial (WILSON *et al.*, 2015).

Os dados referentes à quantidade de municípios que executam algum tipo de ação relacionada a coleta seletiva são bastante inconstantes nas diferentes fontes sobre o tema. De toda forma é importante notar que mesmo com diferentes valores observados (Tabela 1), ainda que pequena, parece existir uma tendência de aumento nos municípios que apontam a existência de coleta seletiva, independente da metodologia utilizada para essa análise.

**Tabela 1:** Municípios com coleta seletiva no Brasil.

Ano	Fonte	
	SNIS (%)	Abrelpe (%)
2015	22,5	69,3
2016	21,8	69,6
2017	22,5	70,4
2018	23,7	73,1
2019	25,8	73,1
2020	29,9	74,4

Fonte: elaborada pelo autor a partir de dados do SNIS e ABRELPE

O Instituto de Pesquisa e Econômica Aplicada - IPEA (2010) estimou em R\$ 8 bilhões a possível geração de renda caso fosse universalizada a reciclagem de materiais como celulose, plástico, vidro, alumínio e aço, considerando a diferença de custo entre a produção a partir da matéria-prima virgem e a obtida através da reciclagem.

### 2.1.2 Triagem

A presença dos catadores de materiais recicláveis acompanhou o processo de urbanização das cidades brasileiras, os primeiros relatos remontam ao século XIX. São, de maneira geral, indivíduos que encontram nessa atividade a única alternativa de trabalho (IPEA, 2013).

Os motivos alegados pelos catadores para a realização desse trabalho são: desemprego, dificuldade de inserção no mercado de trabalho devido à baixa escolaridade, limitações físicas ou idade avançada. Diante desse cenário essa população de vulneráveis se sujeita a participar de um sistema que apresenta outros obstáculos: instabilidade e/ou ausência de relações de trabalho, flutuação de renda devido a oscilações nos preços e volumes coletados



e baixa capacidade administrativa das organizações de catadores (CASTILHOS JR, 2013). Há ainda que se considerar dificuldades adicionais: o baixo poder de barganha junto aos comerciantes de materiais recicláveis, jornada de trabalho extenuante devido ao excesso de peso carregado por grandes distâncias, ausência de amparo/auxílio por parte do poder público e, por fim, problemas de saúde decorrentes das péssimas condições de trabalho, como verminoses e acometimentos do sistema musculoesquelético (CASTILHOS JR, 2013, IPEA 2013). Nesse cenário, uma alternativa encontrada pelos atores é o agrupamento em cooperativas ou associações.

Com base em dados da PNAD e do censo de 2010 (Tabela 2), é possível traçar um perfil socioeconômico dos que se autodeclaram catadores de materiais recicláveis, que evidencia a situação de alta vulnerabilidade observada nessa população.

**Tabela 2:** Perfil socioeconômico dos catadores no Brasil, adaptado de IBGE (2012).

Indicador	Brasil	S	SE	NE	CO	N
Nº catadores	387.910	58.928	161.417	116.528	29.359	21.768
Idade média (anos)	39,4	38,9	40,6	38,3	40,0	36,5
Mulheres (%)	31,1	34,1	30,9	29,3	34,1	29,5
Negros e pardos (%)	66,1	41,6	63,0	78,5	71,3	82,0
Renda média(R\$)	571,56	596,9	628,89	459,34	619,00	607,25
Analfabetos (%)	20,5	15,5	13,4	34,0	17,6	17,2
Previdência (%)	15,4	25,9	17,7	6,2	10,6	7,4

Fonte: elaborado pelo autor com base em IBGE (2012)

É possível notar a disparidade de indicadores desse grupo em relação à média nacional, por exemplo, de analfabetismo ou na média da presença de negros e pardos. É possível se destacar, ainda, que apenas 38% dos catadores possuem algum tipo de relação formal de trabalho, sendo que o maior percentual observado foi na região sudeste com menos da metade dos trabalhadores com vínculo formal (45,2%), e o menor na região norte (29%).

De acordo com relatório do Compromisso Empresarial para a Reciclagem (CEMPRE) de 2014, apenas 13% do total dos RSU é encaminhado para a reciclagem, ainda que alguns produtos como o papelão e alumínio, mereçam destaque pelo alto índice de reaproveitamento.

Entre os agentes da cadeia da reciclagem no Brasil - poder público, indústria, cidadãos - os catadores são certamente o elo mais fragilizado, ainda que desempenhem tarefa

fundamental na retirada de pressão sobre o destino final e agregando valor ao que era tido como descartável (CASTILHOS JR, 2013; GUTBERLET, 2013e; ZANIN; GUTIERREZ, 2006).

Atualmente a maior parte dos catadores atua de maneira desorganizada, com pouca ou nenhuma condição adequada como uso de equipamentos de segurança (EPI), ou mesmo sem compromisso com o ambiente em que atua, muitas vezes segregando os resíduos de maneira inadequada a fim de obter somente aqueles que são de seu interesse, dado o valor de mercado dos materiais coletados (WILSON *et al.*, 2015; CASTILHOS JR, 2013).

As cooperativas e/ou associações de catadores de materiais reciclados desempenham papel fundamental na cadeia da reciclagem (GUTIERREZ; ZANIN, 2011; UN HABITAT, 2010). Além disso, possuem papel importante na inserção da população marginalizada, em situação de vulnerabilidade social, dentro da cadeia produtiva, com significativos impactos junto a essa população (DIAS *et al.*, 2012, ZANIN 2006, UM HABITAT 2010).

A participação de catadores de materiais recicláveis associados em cooperativas geralmente está prevista e é incentivada pela PNRS. Ainda que de maneira discreta, dados do SNIS apresentam maior participação desses agentes nos números referentes a coleta seletiva (Tabela 3). Participação de catadores na coleta seletiva (%)

**Tabela 3:** Participação de catadores na coleta seletiva no Brasil.

Participação de catadores na coleta seletiva (%)	
2015	32,7
2016	32,9
2017	35,7
2018	30,7
2019	36,8
2020	35,2

Fonte: elaborado pelo autor com base em ABRELPE (2015 a 2020)

Segundo o IBGE (2012), existem cerca de 400 mil catadores no Brasil, enquanto o Movimento Nacional de Catadores de Recicláveis (MNCR) estima cerca de 800 mil. Desse universo, 13 mil estavam organizados em empreendimentos cadastrados no Sistema Nacional de Economia Solidária (SIES), em 2007 (GUTIERREZ; ZANIN, 2011).

### 2.1.3 Destinação de Resíduos

No ano de 2020, 73,8% dos resíduos coletados tiveram destinação adequada, ou seja, foram alocados em aterros sanitários, conforme previsão da PNRS. Isso corresponde a um

volume de 48,2 milhões de toneladas. Contudo, mais de 24,2% dos resíduos coletados foram dispostos de maneira irregular em aterros controlados ou mesmo lixões a céu aberto. (ABRELPE, 2021)

**Tabela 4.** Disposição final de resíduos sólidos no Brasil.

Ano	Disposição adequada	Disposição inadequada
2017	59,1	40,9
2018	59,5	40,5
2019	59,5	40,5
2020	60,2	39,8

Fonte: elaborado pelo autor com base em ABRELPE (2017 a 2020)

Comparando o ano de 2017 com o ano 2020, houve pequena melhoria no quadro geral observado no país. A disposição inadequada caiu pouco mais de 1% no período (ABRELPE, 2020).

De maneira simplificada podemos identificar alguns elementos intermediários por onde passam os resíduos antes da sua destinação final, são as chamadas estações de transferência, instalação geralmente localizada próxima ao centro gerador do RSU, onde os resíduos são transferidos de veículos de transporte para serem levados até o local de destinação final. Tem como finalidade servir como um centro de distribuição. Em estudo realizado em Florianópolis estimou-se possível alcançar uma redução de 24% nos custos totais com transporte de resíduo sólido urbano no município, quando implantadas as estações de transferência (PEREIRA, 2013).

Alguns municípios optam por queimar os RSU, em parte ou em sua totalidade. A pirólise e gaseificação combinadas (CPG) é um processo que utiliza da deficiência de oxigênio (gaseificação) com objetivo de produzir um gás combustível, o qual é armazenado para ser utilizado quando necessário. Também pode ser usada para remover os inertes e para triturar, reduzindo o tamanho do RSU após sua secagem. (SHARHOLY *et al.*, 2008). Após o processo são obtidas três fases do resíduo, a sólida (carvão), líquida (água e óleos) e gasosa (hidrocarbonetos leves, H<sub>2</sub>, CO e CO<sub>2</sub>) (ERKUT *et al.*, 2008).

No mundo existe aumento de discussão a respeito da geração de energia a partir dos resíduos urbanos, abordagem chamada de *waste to energy*. Ainda que exista defesa dessa opção de uso dos resíduos domiciliares, é crescente a crítica a respeito desse uso, uma vez que implicaria em não retorno de material para a cadeia produtiva, pressão sobre emissão de gases de efeito estufa ao invés de acumulação desse material em aterros sanitários (BRAMRYD, 2013), exclusão dos catadores de matérias do processo produtivo (TANGRI, 2003, GUTBERLET, 2016). Nesse sentido, Gutberlet, Bramryd e Johansson (2020), concluem que

ainda que pareça interessante a utilização dessa técnica, com uma análise sistêmica os benefícios não parecem superar os danos ambientais, econômicos ou sociais.

## **2.2 Políticas públicas de governança municipal e conceitos de sustentabilidade**

Pelo nosso arranjo legal, a responsabilidade de gestão dos resíduos recai sobre os entes municipais (SAIANI; TONETO JR, 2014). Segundo Haastrup *et al.* (1998), um sistema de gestão de resíduos sólidos necessita de, ao menos, três tipos de dados para o seu planejamento adequado: dados demográficos, dados referentes ao tratamento e disposição dos resíduos e dados relacionados à produção de resíduos.

Dentre os princípios existentes na Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (BRASIL, 2010), aqueles que se relacionam mais diretamente ao gerenciamento do município são: não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos; redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos; incentivo à indústria da reciclagem; gestão integrada de resíduos sólidos; articulação entre as diferentes esferas do poder público e empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos; capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos; regularidade, continuidade, funcionalidade e universalização da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos; e integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos (REBEHY *et al.*, 2019; HENRY; YONGSHENG; JUN, 2006)

Existem fragilidades na atuação do poder público em diferentes esferas, mas sabidamente na esfera municipal, em especial em municípios de pequeno porte (ANDRADE, 2013). Entre as principais fragilidades é possível destacar: baixa capacidade; insustentabilidade financeira; baixa capacidade fiscalizatória; falta de incentivos creditícios e tributários para logística reversa e reciclagem; falta de comunicação com cidadão sobre o custo da gestão de resíduos e a importância do cidadão com papel ativo. Tais fatores terminam por o funcionamento adequado da cadeia de reciclagem. Existe um consenso cada vez maior sobre a necessidade da incorporação da cobrança da taxa do lixo e responsabilização dos grandes geradores por meio de legislações (FERNADEZ-JIMENEZ *et al.*, 2017; AZEVEDO *et al.*, 2019).

Os plano municipais de gestão de resíduos enfrentam diferentes obstáculos, tais como: falta de informações para elaboração do diagnóstico; resistência às mudanças na implantação de um novo modelo; definição do arranjo institucional para inclusão de catadores; fiscalização

dos problemas ambientais e de custos para o ente público; escolha da tecnologia de coleta e destinação; custo do processo por um período de longo prazo (MIEZAH *et al.*, 2015).

A literatura vem demonstrando a evolução das discussões a respeito da gestão de resíduos sólidos, refletindo o aumento da complexidade do tema, conforme demonstra revisão bibliométrica realizada por Wang *et al.* (2021). Alguns trabalhos de tomada de decisão apoiados em ferramentas multicritério têm incorporado os pilares da sustentabilidade, 46% deles consideram simultaneamente econômico, ambiental e social, contudo, apenas 22% utilizaram métodos quantitativos nas investigações. O universo do estudo considerou 260 artigos sobre o tema (GOULART COELHO *et al.*, 2017).

As pesquisas têm mostrado diferentes modelos para gerenciamento de resíduos sólidos no mundo, que contemplam objetivos como otimização da logística, redução dos custos e mais recentemente a incorporação de aspectos ambientais e sociais.

Hosseinalizadeh, Izadbakhsh e Shakouri (2021) apontam que não é suficiente olhar exclusivamente para a uma alternativa isoladamente, ao apontar que parece haver uma taxa de reciclagem que pode determinar a escolha entre poluição atmosférica e disposição em aterro, uma vez que com menores taxas de reciclagem se amplia a emissão de GEEs provenientes do transporte, tornando mais interessante a queima do material, mesmo sem recuperação energética.

**Quadro 2:** Elementos ambientais existentes na literatura.

<b>Autores e ano</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Elementos ambientais</b>
ERKUT <i>et al.</i> 2008	Desenvolvimento de um modelo de programação linear para localização e seleção de tecnologia de tratamento e coleta	Minimizar efeito estufa e disposição final
		Maximizar a recuperação
TAN <i>et al.</i> 2014.	Desenvolvimento de modelo de programação linear para otimizar a gestão dos resíduos sólidos municipais	Minimização de volume descartado em aterro
ARENA e DI GREGORIO, 2014.	Descrição de sistema de gestão de resíduos integrado e sustentável	Minimizar o uso de aterros e de matéria-prima
		Maximizar recuperação de energia
HERVA, <i>et al.</i> 2014.	Avaliação dos processos de tratamento de resíduos Uso da pegada ecológica como indicador agregado de sustentabilidade	Compostagem incineração são vetores importantes para recuperação energética
		É preciso considerar poluentes atmosféricos da incineração
RODRIGUES <i>et al.</i> 2018.	Desenvolver modelo para identificar fatores de desempenho de um sistema de gestão	Campanhas de educação ambiental
		Logística reversa
		Pegada de carbono
		Consumo de energia no processo
		Recuperação de material

LLANQUILEO-MELGAREJO & MOLINOS-SENANTE, 2021.	Avaliar com eficiência 142 municípios chilenos a partir de uma análise que integra dimensão econômica e ambiental; também procura analisar se as instalações são afetadas por economia de escala	Aumento do volume de recicláveis e redução no volume para aterros
HOSSEINALIZAD EH, <i>et al</i> 2021.	Avaliar redução de custos, poluição do ar e volume em aterros. Compostagem aparece sempre como um fator importante para redução de custo, diminuição de poluição atmosférica e diminuição de disposição em aterro	Diminuição de poluição atmosférica e disposição em aterros
TAN <i>et al.</i> 2015.	Avaliar os 3Es da recuperação de energia (energia, economia e ambiente) em estudo de caso na Malásia	Emissão de carbono
		Geração de energia
MINOGLOU & KOMILIS 2013.	Modelo que permita minimizar o custo do sistema e equivalente em carbono, com incineração de materiais com alto poder calorífico como papéis e plásticos	Equivalentes em carbono
		Uso de aterros

Fonte: elaborado pelo autor.

Alguns autores procuram destacar lacunas na gestão e formulação de políticas públicas de resíduos, bem como os desafios crescentes que o setor enfrenta diante do crescimento populacional acelerado bem como da escassez de áreas para disposição final e necessidade de melhoria de coleta de dados (MANDAL *et al.* 2019; LLANQUILEO-MELGAREJO; MOLINOS-SENANTE, 2021)

Contudo é possível argumentar que a queima de material traz também efeitos indesejados, como impossibilidade de recuperação de materiais diante da demanda por material calorífico, diminuição da pressão por desenvolvimento de novos processos de fabricação diante da menor pressão por áreas de aterro e eliminação da inclusão de população em situação de vulnerabilidade no sistema (GUTBERLET, 2020).

As características demográficas podem interferir na formulação de desenhos de modelagem de sistemas de gestão de resíduos, assim como a características dos tipos de resíduos, tecnologias adotadas para transporte e tratamento, além da importância de se considerar a presença de catadores, organizados ou não (SHARHOLY *et al.*, 2008). A participação de catadores, incentivados por políticas públicas de inclusão desses nos sistemas, pode, eventualmente, colaborar para a diminuição de resíduos destinados a aterros, bem como com a minimização de custos de manutenção dessas áreas (GOUVEIA, 2012).

Alguns que consideram o componente social entre seus vetores de análise de eficiência e eficácia dos sistemas. Quando aparece esse componente se traduz em elementos como responsabilidade do cidadão, atendimento da política pública, inserção de catadores ou mesmo condições dos trabalhadores envolvidos (MANDAL *et al.* 2019; RODRIGUES *et al.* 2018; HERVA, *et al* 2014; GOUVEIA, 2012; SHARHOLY *et al.* 2008).

**Quadro 3.** Elementos sociais existentes na literatura.

<b>Autores e ano</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Elementos sociais</b>
SHARHOLY <i>et al.</i> 2008.	Caracterização dos elementos da gestão de resíduos em cidade da Índia	Incentivo aos catadores informais e terceiro setor que os apoiam
GOUVEIA, 2012.	Avaliar possibilidade de aumento de destinação de resíduos para aterros sanitários sem aumento de reciclagem e sem recuperação energética	Inclusão dos catadores nas políticas públicas de gestão de resíduos sólidos melhoria das condições de trabalho
HERVA, <i>et al.</i> 2014.	Avaliação dos processos de tratamento de resíduos Uso da pegada ecológica como indicador agregado de sustentabilidade	Responsabilidades dos geradores com a segregação inicial
RODRIGUES <i>et al.</i> 2018.	Desenvolver modelo para	Número de funcionários
		Controle de desempenho
		Integração Social de trabalhadores Satisfação do usuário
MANDAL <i>et al.</i> 2019.	Procura destacar uma abordagem evolutiva as lacunas e formulação de políticas públicas e desafios que o setor enfrenta na Índia	Necessidade de modificações no sistema diante do crescimento populacional acelerado bem como da escassez de áreas para disposição final
		Necessidade de melhoria de coleta de dados
AYVAZ-CAVDAR OGLU, <i>et al.</i> 2019.	Modelo matemático para estudar o sistema de gestão de resíduos na Turquia buscando redução de custo e de impactos ambientais	Minimizar impactos ambientais

Fonte: elaborado pelo autor.

Para além das dificuldades operacionais, os serviços de coleta de lixo possuem altos custos para os municípios, seja quando terceirizados, por poucas empresas que possuem hoje condições de atuar no mercado, seja com atuação direta do ente municipal (CHERFEM, 2015). O problema aumenta porque muitos municípios brasileiros têm enfrentado restrições econômicas, em especial após o período de crise vivido pelo país nos últimos anos. Além disso, uma parcela significativa dos municípios não cobra qualquer taxa de limpeza urbana (que inclui outras atividades além de coleta de resíduos); e mesmo entre aqueles que as cobram, em 76% desses municípios, tais valores não ultrapassam 50% dos custos dessas operações (SNIS, 2017).

Existe, atualmente, certo consenso na literatura a respeito da fragilidade financeira dos sistemas de gestão de resíduos. Um grande volume de trabalhos demonstra a necessidade de redução ou otimização de custos, de um sistema sabidamente complexo e oneroso para os entes municipais (ARENA e DI GREGORIO, 2014; RODRIGUES *et al.* 2018; LLANQUILEO-MELGAREJO & MOLINOS-SENANTE, 2021).

Em relação à dimensão econômica alguns estudos procuraram entender a possibilidade de diminuição de custos com abertura de novos sítios para disposição final (ERKUT *et al.* 2008; ASEFI, & LIM, 2017), uma vez que dependendo do volume destinado para aterros, a atividade

pode se tornar inviável (GOUVEIA, 2012), seja buscando a caracterização das operações para busca de minimização de custos de operação (SHARHOLY *et al.* 2008).

Entre os principais elementos de custo, é possível destacar os elevados impactos do transporte de grandes quantidades de resíduos entre os pontos de geração, seus destinos intermediários de tratamento e destinação final (TAN *et al.* 2015), além do impacto em emissões de gases de efeito estufa decorrente desses processos logísticos (MINOGLOU & KOMILIS 2013, AYVAZ-CAVDAROGLU, *et al* 2019).

**Quadro 4.** Elementos econômicos existentes na literatura.

<b>Autores e ano</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Elementos econômicos</b>
ERKUT <i>et al.</i> 2008	Desenvolvimento de um modelo de programação linear para localização e seleção de tecnologia de tratamento e coleta	Minimizar custo de abertura
SHARHOLY <i>et al.</i> 2008.	Caracterização dos elementos da gestão de resíduos em cidade da Índia	Minimização custos de operação
TAN <i>et al.</i> 2014.	Desenvolvimento de modelo de programação linear para otimizar a gestão dos resíduos sólidos municipais	Recuperação energética para geração de receita
ARENA e DI GREGORIO, 2014.	Descrição de sistema de gestão de resíduos integrado e sustentável	Custo elevados de operações complexas
GOUVEIA, 2012.	Avaliar possibilidade de aumento de destinação de resíduos para aterros sanitários sem aumento de reciclagem e sem recuperação energética	Custos inviáveis de manutenção de aterro sem diminuição de volumes
HERVA, <i>et al</i> 2014.	Avaliação dos processos de tratamento de resíduos Uso da pegada ecológica como indicador agregado de sustentabilidade	
ASEFI e LIM, 2017.	Maximizar lucro de todos os participantes dos sistemas a partir dos princípios da sustentabilidade	Minimizar custo fixo total e de abertura de componentes
		Minimizar custo de transporte
		Maximizar retorno
RODRIGUES <i>et al.</i> 2018.	Desenvolver modelo para identificar fatores de desempenho de um sistema de gestão	Controle orçamentário
		Custo por área
		Captação de recursos
		Qualidade da Frota
	Inovação	
ALZAMORA & BARROS, 2020.	Identificar melhor método de pagamento para financiamento do sistema de gestão de resíduos sólidos municipais	Modelos de pagamento
LLANQUILEO-MELGAREJO & MOLINOS-SENANTE, 2021.	Avaliar com eficiência 142 municípios chilenos a partir de uma análise que integra dimensão econômica e ambiental; também procura analisar se as instalações são afetadas por economia de escala	Custos econômicos



HOSSEINALIZADEH, <i>et al</i> 2021.	Avaliar redução de custos, poluição do ar e volume em aterros. Compostagem aparece sempre como um fator importante para redução de custo, diminuição de poluição atmosférica e diminuição de disposição em aterro	Diminuição de custos
TAN <i>et al.</i> 2015.	Avaliar os 3Es da recuperação de energia (energia, economia e ambiente) em estudo de caso na Malásia	Custo de processamento e transporte Lucro de venda de energia crédito de carbono
MINOGLU & KOMILIS 2013.	Modelo que permita minimizar o custo do sistema e equivalente em carbono, com incineração de materiais com alto poder calorífico como papéis e plásticos	Custo total
MOHAMMADI, <i>et al</i> 2019.	Gestão de resíduos como um problema clássico de gestão de cadeia de suprimento uma vez que envolve as ações de geração coleta separação Transportes tratamento Distribuição e disposição fina	Maximizar lucros Minimizar custos A presença de plástico recicláveis aumenta a lucratividade do sistema modelos que incluíam reciclagem são os mais lucrativos entre as opções estudadas
AYVAZ-CAVDAROGLU, <i>et al</i> 2019.	Modelo matemático para estudar o sistema de gestão de resíduos na Turquia buscando redução de custo e de impactos ambientais	Minimizar custos

Fonte: elaborado pelo autor.

A escolha de um modelo adequado não possui uma única resposta, enfrenta escolhas que eventualmente podem ser competidoras entre si, como aumento de recuperação de materiais ou destinação de matérias com maior poder calorífico para geração de energia (MINOGLU & KOMILIS 2013).

### 2.2.1 Arcabouços legais no mundo e no Brasil

Os países desenvolvidos começaram as discussões sobre questões ambientais e gerenciamento de resíduos na década de 60, como descrito na literatura (REBEHY *et al.*, 2017). Atualmente é possível dizer que os países desenvolvidos estão em outra fase do gerenciamento de resíduos compatível com seu contexto de *path dependence* (RADA; RAGAZZI; FEDRIZZI, 2013) de modo que, enquanto nos países industrializados as agências usam sistemas de engenharia, os países em desenvolvimento estão discutindo a coleta e remoção (MARSHALL; FARAHBAKHS, 2013).

#### Quadro 5. Comparação de políticas de gerenciamento de RSU em diferentes países.

	Primeira legislação	Outras mudanças
Estados Unidos	1965: Lei Federal de Eliminação de Resíduos Sólidos. Abordou o	▪ 1976: esta lei foi complementada pela Conservação de Recursos

	financiamento de estoques estaduais em aterros e lixões.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1984: Alterações de resíduos perigosos e sólidos à Lei de Conservação e Recuperação de Recursos</li> <li>▪ 1990: Lei de Prevenção da Poluição),</li> <li>▪ 2008: Lei de Recuperação para lidar com o grande volume de resíduos sólidos municipais e industriais gerados.</li> </ul>
<b>Japão</b>	1970: aprovou a Lei de Gestão de Resíduos, que contém definições, classificações de resíduos e padrões de tratamento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1991: Lei de Promoção da Utilização Eficaz de Recursos</li> <li>▪ 1997: Lei de Promoção da Coleta Seletiva e Reciclagem de Recipientes e Embalagens. Em cada município foi criada uma organização para gerenciar o sistema: a Japan Container and Package Recycling Association (JCPRA).</li> <li>▪ 2000: A Lei Básica para Estabelecer uma Sociedade Sábia de Ciclo de Materiais</li> </ul>
<b>Comunidade Econômica Europeia (CEE)</b>	1975: A Diretiva 75/442 adota as medidas necessárias para reduzir, reciclar e transformar os resíduos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1991: promover a prevenção ou redução da geração de resíduos e nocividade; reciclagem, reutilização; e a utilização de resíduos como fonte de energia.</li> <li>▪ 2006: limitar a produção de resíduos, promovendo tecnologias limpas e produtos recicláveis, tendo em conta as oportunidades de mercado para os resíduos recuperados.</li> <li>▪ 2008: contempla a "responsabilidade estendida do produtor", mas não como uma medida tributária.</li> </ul>
<b>Alemanha</b>	1986: Lei de Minimização e Eliminação de Resíduos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1987: Portaria sobre Resíduos de Óleos</li> <li>▪ 1989: Portaria sobre Solventes</li> <li>▪ 1991: Portaria sobre a Prevenção de Resíduos de Embalagens</li> </ul>
<b>França</b>	1975: Política francesa de 42esidues sólidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 2000: Princípio da CEE de responsabilidade alargada do produtor</li> <li>▪ 2011: prevenir e reduzir a produção de 42esidues e toxicidade atuando no projeto, fabricação e distribuição de substâncias e produtos a fim de promover a reutilização, reduzir o impacto global do uso de recursos e melhorar o uso.</li> </ul>
<b>Canadá</b>	1989: Protocolo Nacional de Embalagens, um acordo voluntário com a indústria para reduzir a quantidade de 42esidues de embalagens para destinação final em 50% em 10 anos.	2009: adotou a abordagem adotada por outros países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), o conceito de Responsabilidade Ampliada do Produtor (EPR), uma abordagem de política ambiental em que o produtor é estendido até o ciclo de vida do produto pós-consumo.
<b>Espanha</b>	1998: Lei 10/98, que dispôs sobre a elaboração de planos nacionais de resíduos	2011: estabelecer o regime jurídico de produção e gestão de 42esidues, prevenir a sua geração e evitar ou reduzir os impactos adversos à saúde humana e ao meio ambiente associados.

Fonte: Rebehy (2017, p. ).

O Banco Mundial (2018) recomenda que os municípios considerem alguns pontos-chaves para a elaboração e implementação de políticas públicas de resíduos:

**Quadro 6.** Orientações para a evolução da gestão de RSU.

1.	Primeiro grande objetivo é o oferecimento da universalização dos sistemas de coleta e tratamento de resíduos.
----	---

2.	Aprimoramento gradual, com implementação de mudanças incrementais, evitando mudanças drásticas que interfiram negativamente na rotina dos usuários.
3.	Quando bem implementados, a disposição em aterros sanitários possui bom custo-benefício, em especial quando o sistema é eficiente no tratamento (reciclagem) dos resíduos.
4.	A partir da universalização da coleta, deve-se qualificar o tratamento a partir da reciclagem, diminuindo o fluxo dos resíduos que são direcionados aos aterros.
5.	Reciclagem de resíduos domiciliares é no máximo neutra do ponto de vista econômico, portanto, governos deveriam considerar a inclusão de grandes geradores no sistema de gestão.
6.	Responsabilidade compartilhada, por exemplo através de programas de logística reversa, é um instrumento eficaz para a adequada recuperação de materiais
7.	Há necessidade de inserir diferentes tecnologias para tratamento de diferentes materiais, aprimorando a capacidade de recuperação de materiais no processo.
8.	O financiamento dessa atividade é um ponto nevrálgico, o que torna fundamental o estudo de meios de financiamento próprio, como taxas municipais de manejo de resíduos.
9.	Envolvimento do setor privado tem que estar associado a um bom sistema de <i>compliance</i> .
10.	Os sistemas de gestão de resíduos têm de ser regulados por legislação apropriada e integrada nas diferentes esferas de governo.

Fonte: Banco Mundial (2018) – elaborado pelo autor.

Como demonstrado nas orientações propostas pelo Banco Mundial, nota-se evidente a complexidade da abordagem de gestão de resíduos sólidos, envolvendo a necessidade de universalização do sistema, consideração de hábitos dos munícipes, envolvimento do setor privado, de maneira que uma abordagem unidimensional se mostra insuficiente.

Os princípios que norteiam a PNRS estão em linha com aqueles utilizados pelos países desenvolvidos, como: o poluidor-pagador e o protetor-recebedor; a cooperação entre as diferentes esferas do poder público, setor privado e demais segmentos da sociedade; além da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos (BRASIL, 2010; CALVO; VARELA-CANDAMIO; NOVO-CORTI, 2014). Este último tem como principais instrumentos a coleta seletiva e os sistemas de logística reversa (ZHANG; HUANG; HE, 2011).

A PNRS é resultado de um longo caminho de modificações no arcabouço legal a respeito do tema de resíduos sólidos no Brasil, passando por incrementos em mecanismos locais, como políticas estaduais, que vem se modificando e estabelecendo novos marcos especialmente a partir da primeira década deste século, como por exemplo:

- Lei 12.300 de 16/03/2006, Política Estadual de Resíduos Sólidos para o Estado de São Paulo;
- Decreto 5940 de 25/10/2006, separação de resíduos recicláveis na administração pública direta e indireta, e sua destinação a cooperativa de catadores;
- Lei 12.528 implantação do processo de coleta seletiva de resíduos em shopping centers e em outros estabelecimentos, Estado de São Paulo;
- Lei Federal 12.305/10 e Decreto 7.404/10 Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS);

A Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, editada em 2010 pelo governo federal, traz entre outros avanços importantes a normalização de conceitos que balizam a discussão a respeito do tema em todo o território nacional, algo inexistente no período anterior a ela.

Em seu artigo 3º traz a definição para resíduos sólidos:

XVI - resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010)

Além disso é importante a distinção feita entre resíduos e rejeitos, definidos da seguinte forma no instrumento legal, ainda em seu artigo 3º:

XV - resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010)

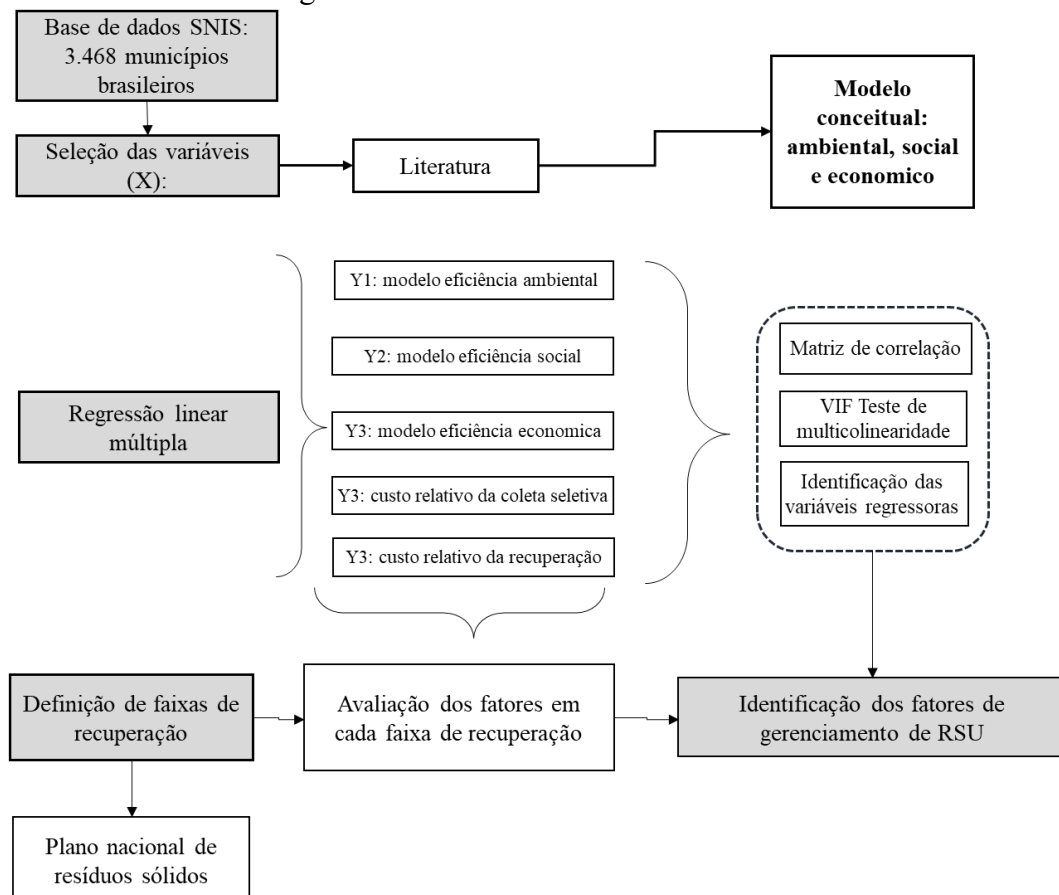
Resíduos são, portanto, resultantes das diferentes ações humanas, de maneira que apresentam características distintas, dependendo de sua origem (LIMA, 2017). De acordo com sua origem e característica, os resíduos podem ser classificados e posteriormente tratados adequadamente (OLIVEIRA, 2020).

### 3 METODOLOGIA

O objetivo geral dessa pesquisa foi identificar fatores para o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil em busca da eficiência econômica, social e ambiental, isto é, quais são os fatores que impactam a gestão de resíduos sólidos urbanos, quando se considera as dimensões ambiental, social e econômica, assim como proposto nos princípios de sustentabilidade. Com isso em vista, este estudo foi desenvolvido como exploratório-descritivo, com abordagem quantitativa-qualitativa.

Para Singh (2007), pesquisa exploratória constitui a primeira etapa da investigação, auxiliando na definição da amostra, métodos de coleta e análise, enquanto para Gil (2002) o objetivo principal da pesquisa exploratória é identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos, no caso o desempenho dos municípios brasileiros com coleta seletiva, ampliando o entendimento sobre um tema, uma vez que procura elucidar causas ou consequências de um dado fenômeno.

**Figura 3.** Resumo metodológico do trabalho



Fonte: elaborado pelo autor.

Yin (2010) argumenta que a principal preocupação de uma pesquisa exploratória, repousa na identificação de fatores que são determinantes, em maior ou menor grau, para a ocorrência do fenômeno estudado.

Para Dantas e Franco (2017), pesquisa exploratória objetiva identificar e validar instrumentos, facilitando sua aplicação em determinado campo de estudo. Para Vieira (2002), serve ao pesquisador quando se deseja observar fenômenos, procurando descrevê-los, classificá-los e interpretá-los.

A abordagem quantitativa procurar identificar a variabilidade do processo de interações sociais, enquanto a investigação qualitativa auxiliar a melhor a compreender a respeito da variabilidade social, a partir da aproximação do objeto de estudo (municípios), que representem a variabilidade estudada, estabelecendo a etapa qualitativa uma relação de complementaridade com a abordagem quantitativa (SALGADO JUNIOR; NOVI, 2014). A pesquisa proposta está, portanto, dividida em duas partes, uma quantitativa e outra qualitativa. Segundo Neuman (2006), a abordagem quantitativa, tem como objetivo quantificar efeitos e justificativas, a partir de dados concretos e numéricos para apresentar a evidência em forma quantitativa. A segunda etapa será qualitativa onde investigador e o objeto de estudo são interativamente ligados, de modo que os resultados são mutuamente criados dentro do contexto da situação que molda o inquérito (SALE *et al.*, 2002).

Tais definições de pesquisa se adequam com os objetivos propostos por esse estudo de análise de aprofundamento sobre a gestão de resíduos nos municípios, bem como na identificação de determinantes de desempenhos deles.

### **3.1 Etapa quantitativa**

Os dados desse estudo foram coletados junto ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, que é mantido pela Secretaria Nacional de Saneamento, do Ministério do Desenvolvimento Regional, estando em sua décima sétima edição. Composto por informações sobre serviços de água e esgotos (SNIS-AE), manejo de resíduos sólidos urbanos (SNIS-RS) e drenagem e manejo de águas pluviais (SNIS-AP), o SNIS abrange os aspectos institucionais, técnico-operacionais, administrativos, econômico-financeiros e de qualidade dos serviços prestados. É um sistema de autodeclaração, aonde os titulares do serviço, os municípios, informam ao Módulo Resíduos Sólidos, dentro do SNIS. Segundo informações do próprio SNIS, os principais objetivos dessa coleta de dados são:

- i. Planejamento e execução de políticas públicas;
- ii. Orientação da aplicação de recursos;

- iii. Conhecimento e avaliação do setor saneamento;
- iv. Avaliação de desempenho dos serviços;
- v. Aperfeiçoamento da gestão;
- vi. Orientação de atividades regulatórias e de fiscalização; e
- vii. Exercício do controle social.

A base do SNIS é composta por 233 variáveis oriundas das informações fornecidas diretamente pelos municípios e mais 47 indicadores calculados pelo próprio SNIS, para criação de parâmetros próprios, como taxa de empregados por habitantes em cada município. A base do SNIS em 2018 conta com 3468 municípios.

Diante do objetivo do trabalho e característica da base de análise, a ferramenta estatística que melhor atende ao proposto é a análise multivariada. A análise multivariada refere-se a uma gama de métodos estatísticos que possibilitam uma análise simultânea de múltiplas medidas a respeito de um objeto ou fenômeno, ou seja, qualquer investigação de mais de uma variável, pode ser considerada, a princípio, multivariada (HAIR, 2009; CORRAR, 2014). Um olhar mais criterioso levaria a considerar ainda a análise bivariada antes de classificar uma análise como multivariada (CORRAR, 2014).

Variáveis quantitativas são aquelas variáveis que podem ser medidas através de escala de valores numéricos e se dividem em discretas (medidas somente por valores inteiros) ou contínuas (valores de escala contínua). As variáveis podem também ser qualitativas, nominais (não apresentam ordem entre si) ou ordinais (ordenação em categorias) (CORRAR, 2014).

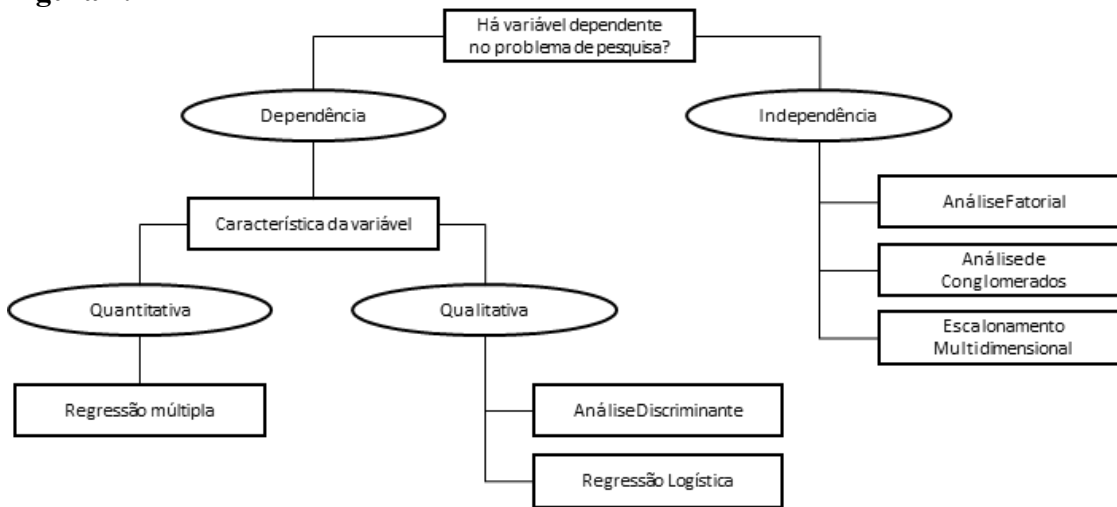
Em algumas situações é importante e extremamente útil isolar uma única variável, para que seja possível analisá-la em separado; na maior parte dos casos as complexidades do contexto são melhor entendidas a partir da relação entre diferentes variáveis (CORRAR, 2014).

Técnicas multivariadas são classificadas como técnicas de dependência e interdependência, sendo as mais discutidas na literatura são:

- regressão múltipla;
- análise discriminante;
- regressão logística;
- análise fatorial;
- análise de conglomerados;
- escalonamento multidimensional;
- redes neurais;
- lógica nebulosa.

A escolha da técnica adequada pode ser feita conforme figura abaixo:

**Figura 4.** Escolha da técnica estatística



Fonte: elaborado pelo autor, adaptado de Corrar (2014).

A regressão linear múltipla é a técnica mais adequada para o objetivo desse estudo. Segundo Hair (2009), regressão múltipla é o método de análise apropriado para o problema de pesquisa que envolve uma variável dependente métrica, que é relacionada a duas ou mais variáveis independentes, também métricas. A regressão linear múltipla busca uma função matemática que descreva o comportamento de uma determinada variável dependente, em função de valores de outras variáveis, chamadas independentes. A análise depende, portanto, da existência de dependência estatística de uma variável dependente (que indiquem o resultado da gestão municipal de RSU) com outras variáveis independentes (CORRAR *et al*, 2014). Com isso poderemos estabelecer os principais inputs que determinam os outputs desejados no processo de gestão de resíduos sólidos nos municípios que participam do monitoramento do SNIS. Como resultado da final das regressões, espera-se identificar quais são os fatores explicativos dos desempenhos dos municípios que compõe a base analisada. Esses fatores foram analisados posteriormente para investigação da relação entre as diferentes dimensões.

Assim como outras técnicas de análise, a regressão linear múltipla, requer a verificação de algumas suposições que são verificadas a partir de alguns testes consagrados na literatura (CORRAR, 2014; HAIR, 2009). Os principais pressupostos requeridos para a regressão linear múltipla são:

- a. normalidade de resíduos: a normalidade é testada por diferentes testes, como o Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk. Caso a variação em relação à distribuição normal é grande, é possível que todos os estatísticos resultantes são inválidos, uma vez que a normalidade é exigida no emprego das estatísticas F e t. A relevância da

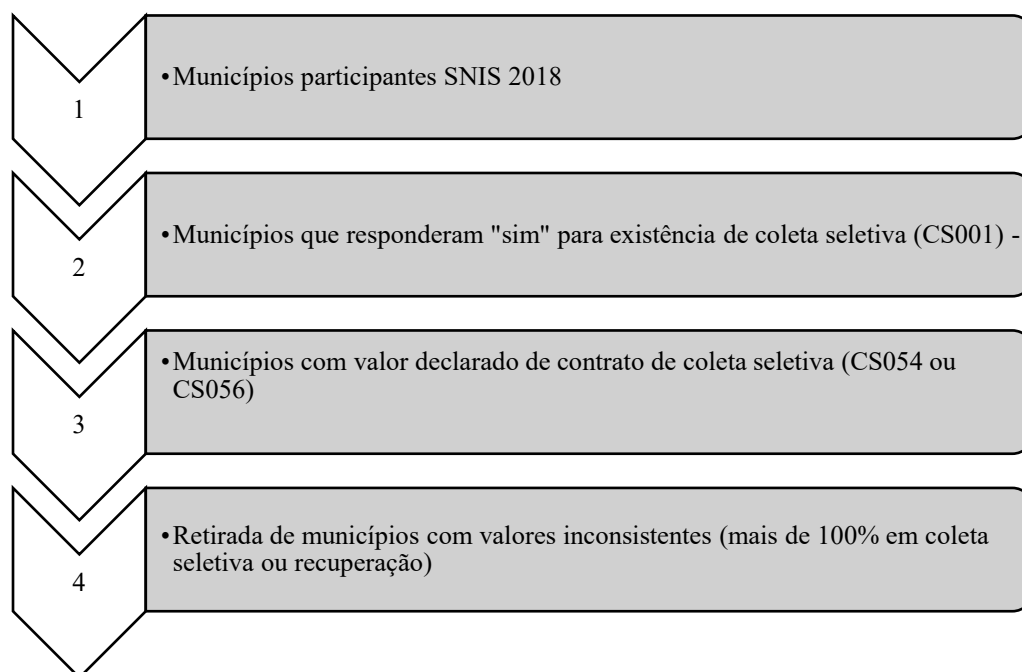


não normalidade está relacionada a forma da distribuição transgressora, bem como com o tamanho da amostra.

- b. homoscedasticidade dos resíduos: o conjunto de resíduos referentes a cada observação de X deve ter uma variância constante/homogênea, por toda a extensão das variáveis independentes, sendo testada, por exemplo através do teste de Pesarán-Pesarán (CORRAR, 2014).
- c. linearidade dos coeficientes: representa o grau em que a variação da variável dependente está relacionada a variável independente, de maneira linear
- d. ausência de autocorrelação serial dos resíduos: o modelo pressupõe que a correlação entre resíduos é zero ao longo do conjunto de variáveis independentes, ou seja, o efeito de uma observação de dada variável X é nulo sobre as observações seguintes. De outro modo, é a necessidade de independência de resíduos. É testado pelo teste de Durbin-Watson.
- e. multicolinearidade entre as variáveis independentes: a capacidade de uma variável independente melhorar a previsão da variável estudada está relacionada não somente a sua correlação com a variável em questão, mas também a correlação com as demais variáveis independentes já incluídas na equação. Logo, é importante que o pesquisador procure variáveis com baixa multicolinearidade entre as variáveis independentes a alta correlação com a variável dependente (HAIR, 2009).

Estabelecemos os seguintes passos de eliminação dos municípios para formação da base final de análise.

**Figura 5.** Etapas para definição da base final dos municípios a serem avaliados.



Fonte: elaborado pelo autor.

A seleção de variáveis é um sensível e determinante pois, sendo que Thanassoulis (1996) alerta que o conjunto de variáveis escolhidas tem impacto direto nos resultados e na avaliação. Mello *et al.* (2003) afirmam que o processo de seleção de variáveis é parâmetro auxiliar para a conclusão que se obtém do a partir do objeto estudado, uma vez que orientarão os resultados. Assim, tomadores de decisão como gestores públicos, devem usar a experiência, bom-senso no momento da escolha/seleção das variáveis (ANGULO-MEZA *et al.*, 2007).

A partir do banco de dados disponível no SNIS, as variáveis foram pré-selecionadas, considerando como principais parâmetros para essa decisão a disponibilidade de informações (número de variáveis com preenchimento completo por toda a base amostral), além da escolha de variáveis que possuíam relação direta com os objetivos do trabalho.

A partir da estatística descritiva e foram escolhidas 39 variáveis para compor a base final a ser trabalhada. A composição das variáveis para rodar a regressão foi feita a partir do número final de municípios ( $n = 394$ ), garantido a relação de 1 variável para cada 10 observações (municípios) na base, uma vez que Hair (2009) defende que tal relação não deve ficar abaixo de 1 para 10.

Com auxílio do software *Statistical Package for Social Sciences*® (SPSS), versão 22.0 foram então rodadas as regressões definidas para esse trabalho, seguindo todas as etapas ressaltadas anteriormente neste capítulo.

### 3.2 Etapa qualitativa

Para Cauchick (2010), a a pesquisa qualitativa da ênfase na perspectiva objeto de estudo, sendo relevante a realidade subjetiva aos atores envolvidos na pesquisa, contribuindo para o desenvolvimento da pesquisa.

Nessa segunda etapa da pesquisa é importante destacar a utilização do método hipotético-dedutivo, que Popper (2013), argumenta que hipóteses podem ser elaboradas ou imaginadas por pesquisadores a partir de duas premissas: questionar as teorias existentes ou a literatura existente. Sendo assim, tal método parte de um problema ou lacuna no conhecimento científico, passando pela formulação de hipóteses e por um processo de inferência dedutiva, o qual testa a predição da ocorrência de fenômenos abrangidos pela referida hipótese (MARTINS; THEÓPHILO, 2016).

Diante desse cenário e a partir dos achados das regressões, os dados foram organizados de duas maneiras distintas, a fim de permitir melhor visualização gráfica dos resultados:

- a. Em formato de rede, através do software Gephi versão 0.9, possibilitando entender de maneira mais clara o compartilhamento de variáveis entre os indicadores, ou mesmo o isolamento desses.
- b. Em formato de processo, com as etapas do processo de coleta seletiva sendo estabelecidas de maneira a organizar as variáveis existentes em alguma das quatro etapas estabelecidas.

Por fim, com objetivo de analisar o comportamento dos municípios analisados, em relação ao que propõe o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, foram criadas cinco faixas de recuperação, baseadas nas metas de recuperação de recicláveis no horizonte temporal do PLANARES, de 2020 a 2040. Os municípios foram então estratificados de acordo com o indicador “taxa de recuperação”.

A estratificação de dados é uma forma segregar um determinado grupo em grupos menores e mais específicos, com objetivo de possibilitar uma análise segmentada, aprofundando o entendimento do objeto de estudo (SELEME; STADLER, 2010). Para MARIANI (2005) a estratificação facilita a investigação do problema de estudo.

**Quadro 7.** Resumo metodológico do trabalho.

<b>Problema de Pesquisa</b>	<b>Objetivo Geral</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Técnica</b>	<b>Fonte de dados</b>	<b>Resultados esperados</b>
Ausência de um modelo de gestão e avaliação da coleta seletiva no Brasil, que permita a incorporação dos princípios da sustentabilidade	Estudar a gestão municipal da coleta seletiva em municípios do Brasil	Propor um modelo conceitual para avaliação da eficiência da gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) dos municípios	Levantamento bibliográfico	Pesquisa bibliográfica	Proposição de modelo de indicadores que considerem os princípios da sustentabilidade
		Identificar fatores explicativos que farão parte do Modelo para o gerenciamento de RSU no Brasil	Regressão Linear Múltipla	SNIS 2018	Definição das variáveis dependentes (Y) que representem as dimensões econômica, social e ambiental
		Investigar os componentes da gestão de resíduos, em linha com a proposta de recuperação de resíduos do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES).	Análise de rede	Dados resultantes das regressões lineares múltiplas	Validação e análise crítica do modelo proposto e fatores apontados pelas etapas anteriores

Fonte: elaborado pelo autor

## 4 DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS

O presente estudo teve como objetivo geral identificar **fatores para o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil para a eficiência econômica, social e ambiental.**

Para tanto foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

1. Propor um modelo conceitual para avaliação da eficiência da gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) dos municípios;
2. Identificar fatores explicativos que farão parte do Modelo para o gerenciamento de RSU no Brasil;
3. Investigar os componentes da gestão de resíduos, em linha com a proposta de recuperação de resíduos do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES).

### 4.1 Caracterização da amostra

O SNIS de 2018 foi respondido por 3468 municípios com a seguinte distribuição por região e natureza jurídica do órgão responsável:

**Tabela 5.** Natureza jurídica da gestão de RSU no Brasil – SNIS 2018.

Região	Número de municípios	Natureza jurídica – participação (%)			
		Administração direta	Autarquia	Empresa Pública	Sociedade de economia mista
Norte	233	95,3	2,6	1,7	0,4
Nordeste	799	95,0	1,0	3,5	0,5
Sudeste	1199	93,2	2,6	3,3	0,8
Sul	962	93,6	2,7	3,0	0,7
Centro - oeste	275	94,9	2,9	1,8	0,4
<b>Total</b>	<b>3468</b>	<b>94,0</b>	<b>2,3</b>	<b>3,1</b>	<b>0,7</b>

Fonte: SNIS 2018, elaborado pelo autor

Importante notar que a gestão da coleta nos municípios está majoritariamente a cargo da administração pública direta, independente da região do país em que o município se encontra. Contudo quando se analisa essa mesma tabela, mas pelo prisma do tamanho de cada município participante, tem-se um quadro significativamente diferente, conforme ilustra o quadro a seguir.

**Tabela 6.** Natureza jurídica da gestão de RSU no Brasil e distribuição por faixa populacional – SNIS 2018.

Faixa populacional	Número de municípios	Natureza jurídica – participação (%)			
		Administração direta	Autarquia	Empresa Pública	Sociedade de economia mista
<b>1 (pop total &lt; 30mil hab)</b>	2.647	95,6	1,1	3,0	0,4
<b>2 (30mil &lt; pop total &lt; 100mil)</b>	534	92,7	4,1	2,4	0,7
<b>3 (100mil &lt; pop total &lt; 250mil)</b>	176	86,4	6,8	5,1	1,7
<b>4 (250mil &lt; pop total &lt; 1milhão)</b>	94	78,7	11,7	5,3	4,3
<b>5 (1 milhão &lt; pop total &lt; 4 milhões)</b>	15	60,0	33,3	0,0	6,7
<b>6 (pop total &gt; 4 milhões)</b>	2	0,0	50,0	0,0	50,0
<b>Total</b>	3648	94,0	2,3	3,1	0,7

Fonte: SNIS 2018, elaborado pelo autor.

A análise a partir das faixas populacionais revela a distinção na participação do poder público na gestão de resíduos sólidos. A participação da administração pública direta diminui conforme aumenta o tamanho populacional dos municípios e em sentido inverso, a observação de sociedade de econômica mista e autarquias, aumenta junto com o aumento populacional. Esse fato demonstra cenários diferentes conforme se muda a realidade local.

A partir dos dados disponíveis no SNIS é possível traçar um panorama geral a respeito da gestão municipal de resíduos nos municípios pelo Brasil. Importante destacar a baixa execução de coleta seletiva, bem como o baixo índice de municípios que realizam cobrança de taxa de serviço.

**Tabela 7.** Aspectos gerais da gestão de RSU no Brasil – SNIS 2018.

Participação dos municípios	Aspecto observado nos municípios brasileiros
76,3%	Não tem o sistema de coleta seletiva
29,3%	Existência de cobrança pelos serviços regulares de manejo de RSU
14,8%	Existência de organização formal de catadores
43,5%	Existência de catadores dispersos
37,7%	Possui plano municipal de saneamento básico, elaborado nos termos estabelecidos na Lei 11.445/2007
32,5%	Possui Plano de Gestão de Resíduos Sólidos conforme a Lei nº 12.305/2010 que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)

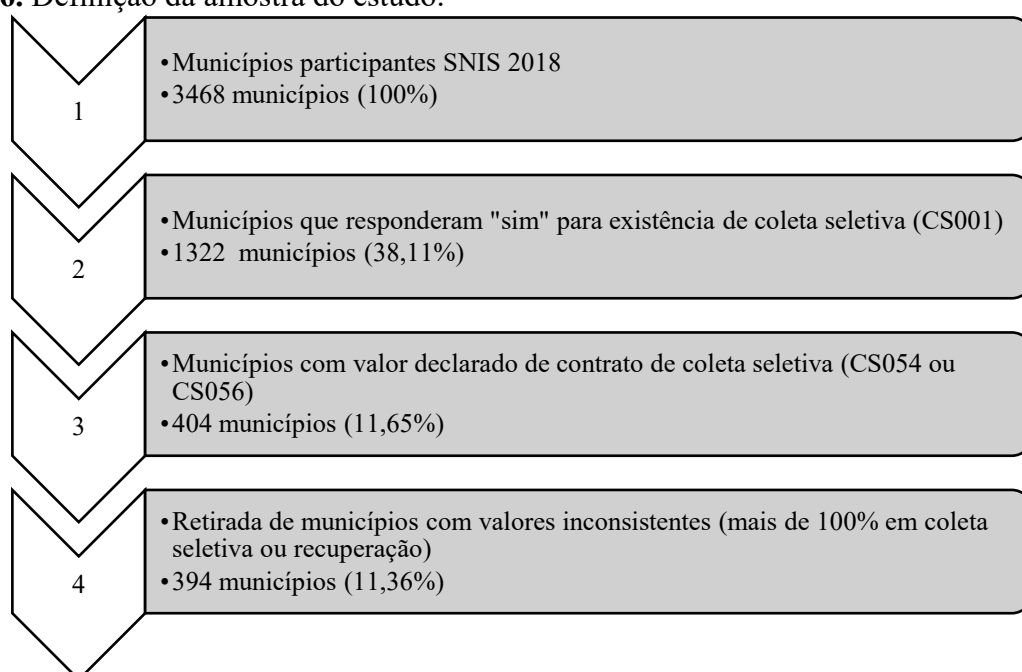
Dos 2.184 municípios respondentes, apenas 39% responderam quanto à destinação dos resíduos:

<b>19%</b>	Lixão a céu aberto
<b>10%</b>	Aterro controlado
<b>10%</b>	Aterro sanitário

Fonte: SNIS (2018) - elaborado pelo autor.

A amostra para este trabalho foi definida a partir dos dados disponíveis no SNIS de 2018 seguindo os passos estabelecidos no capítulo anterior, de maneira que os resultados estão demonstrados na figura a seguir.

**Figura 6.** Definição da amostra do estudo.



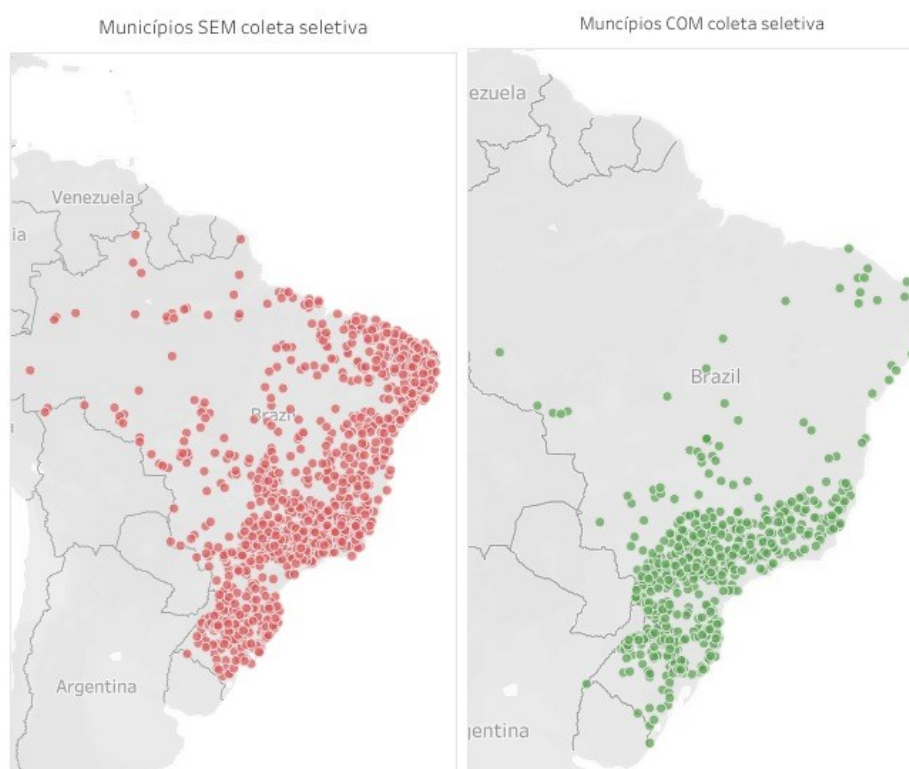
Fonte: elaborado pelo autor

Após os passos estabelecidos, houve uma primeira redução de 3468 para 1322 municípios, que foram os que declararam existência de coleta seletiva, independente do ator que a realiza. Assim é importante notar que o número não atinge sequer 40% dos municípios que responderam ao SNIS em 2018. O segundo corte foi feito a partir dos municípios que declaram o valor contratual para a coleta seletiva, independente do ator que a realiza; o número de municípios foi reduzido então para um n de 404 participantes. Por fim um último corte foi realizado para aqueles municípios que apresentaram dados inconsistentes, como declarar um valor de coleta seletiva ou de recuperação de materiais maior que 100%, nesse passo outros 10 municípios foram excluídos da base, finalizando

o processo com uma base de 394 municípios, ou 11,34% dos municípios responderam ao SNIS.

Definida a base dos municípios a ser analisada, a etapa quantitativa foi realizada através de aplicação de uma regressão linear múltipla para cada indicador definido pelo estudo, buscando permitir a descrição e criação de modelo que possa avaliar a gestão da coleta seletiva dos municípios em relação a abrangência de coleta do volume gerado, qualidade da coleta e custo.

**Figura 7.** Municípios com e sem coleta seletiva.



Fonte: SNIS 2018 – elaborado pelo autor

#### **4.2 Modelo conceitual para gerenciamento municipal de resíduos sólidos urbanos (RSU) a partir dos pilares da sustentabilidade**

Como apresentado na introdução, há certo consenso a respeito da necessidade de uma abordagem multidimensional da gestão de resíduos. Inspirada pela abordagem do *triple bottom line* da sustentabilidade, foram definidas três dimensões de análises. As premissas utilizadas para criação do modelo estão no quadro abaixo.



**Quadro 8.** Definição de premissas do modelo conceitual.

Dimensão analisada	Referencial teórico
<b>1. AMBIENTAL – percentual de recuperação de material coletado seletivamente – Y1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimizar disposição final (Erkut <i>et al.</i>, 2008, Tan <i>et al.</i>, 2014, Arena e Di Gregorio, 2014, Llanquileo-Melgarejo &amp; Molinos-Selantes, 2021),</li> <li>• maximizar quantidade de recuperação de materiais (Arena e Di Gregorio, 2014, Rodrigues <i>et al.</i>, 2018, Llanquileo-Melgarejo &amp; Molinos-Selantes, 2021, Hosseinaliza <i>et al.</i>, 2021),</li> <li>• minimizar emissão de gás efeito estufa (Hosseinaliza <i>et al.</i>, 2021 Llanquileo-Melgarejo &amp; Molinos-Selantes, 2021)</li> </ul>
<b>2. SOCIAL – percentual do volume coletado seletivamente em relação ao total coletado – Y2.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• abrangência do serviço no atendimento à população (Azapagic <i>et al.</i>, 2004, Rechberger e Schöller, 2006, Mandal <i>et al.</i>, 2019, Rodrigues <i>et al.</i>, 2018)</li> </ul>
<b>3. ECONÔMICO – percentual do custo da coleta seletiva em relação ao total com coleta – Y3.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• minimizar o total de gastos públicos (Asefi e Lim, 2017, Rodrigues <i>et al.</i>, 2018, Mohammadi <i>et al.</i>, 2019),</li> <li>• minimizar custo fixo total de abertura dos componentes (Asefi e Lim, 2017, Llanquileo-Melgarejo &amp; Molinos-Selantes, 2021, Hosseinaliza <i>et al.</i>, 2021),</li> <li>• minimizar custo total de transporte de resíduos (Asefi e Lim, 2017, Hosseinaliza <i>et al.</i>, 2021)</li> </ul>

Fonte: elaborado pelo autor

A partir das dimensões e suas premissas, foram criados, portanto, três indicadores:

- Y1 (dimensão ambiental): indicador com objetivo de analisar a capacidade dos municípios estudados em recuperar materiais coletados de maneira seletiva, pode ser entendido também como um indicador de qualidade da coleta seletiva,
- Y2 (dimensão social): indicador com objetivo de analisar a capacidades dos municípios estudados em atender a geração de resíduos de maneira seletiva, ou diferenciada como definido no PLANARES 2020,
- Y3 (dimensão econômica): indicador com objetivo de analisar o custo da coleta seletiva em relação ao custo total com coleta, nos municípios estudados.

Dessa forma foi possível que o estudo relacionasse diferentes dimensões da gestão de resíduos sólidos com o *triple botton line* da sustentabilidade.

Com a análise dos dados, observou-se a necessidade de criar indicadores complementares, a fim de identificar possíveis distorções, uma vez que determinados municípios poderiam apresentar resultados discrepantes como, por exemplo, alta recuperação de material reciclado, mas para um custo elevado, ou mesmo uma recuperação baixa em relação aos demais, mas com maior abrangência da coleta. Em especial, os resultados poderiam indicar distorções de custo-benefício nesses municípios.

Para isso, além da criação dos indicadores olhando para as três dimensões da sustentabilidade, procurou-se estabelecer uma análise das relações entre os indicadores das dimensões social e ambiental, relacionando esses ao indicador da dimensão econômica. De maneira que foram criados cinco indicadores totais, os três apresentados anteriormente com mais dois Y4, relação entre social (Y2) e econômico (Y3), e Y5, relação entre ambiental (Y1) e econômico (Y3). Os cinco indicadores que compõem o modelo conceitual são, portanto:

**Quadro 9.** Indicadores dos modelos de eficiência.

	Volume coleta total	Volume coleta seletiva	Volume material recuperado	Custo da coleta seletiva	Custo da coleta total
Y1		% volume de recuperação de materiais			
Y2	% volume coleta seletiva				
Y3				% custo da coleta seletiva em relação ao custo total de coleta	
Y4	custo proporcional			.... da coleta seletiva	
Y5		Custo da coleta seletiva proporcional à recuperação			

Fonte: elaborado pelo autor

Dessa forma o modelo proposto, com seus cinco indicadores, é capaz de abranger todas as dimensões da sustentabilidade, a partir do *triple bottom line*. Ainda é importante destacar que a criação de dois indicadores extras, Y4 e Y5, permitem que as análises se aprofundem nas relações existentes em um modelo sistêmico.

### 4.3 Fatores explicativos do modelo para o gerenciamento municipal de RSU eficiente e sustentável

Nessa sessão trataremos de explicitar os achados iniciais das regressões, bem como suas fragilidades e potencialidades. Discussões mais profundas e, associando mais de uma dimensão, serão realizadas no capítulo de discussão.

A partir dos resultados da regressão é possível destacar quais são os elementos que possuem uma relação positiva (aumentam ou são sintoma de alta taxa de coleta seletiva), bem como aqueles que possuem uma relação negativa (diminuem ou são sintoma de baixa taxa de coleta seletiva).

A partir da definição dos indicadores do modelo conceitual, este trabalho se dedicou a investigar os fatores que influenciam cada um dos indicadores criados.

Segundo Corrar (2014), uma boa relação entre número de variáveis da regressão e das unidades de análise, é que o primeiro não passe de 10% do segundo. Assim, no caso desse estudo com 394 municípios como unidade de análise, o número de variáveis da regressão foi limitado a 39 entre as disponíveis no SNIS.

Todas as cinco regressões apresentaram um poder explicativo importante, variando de 0,488 (Y3) a 0,911 (Y1). Além disso para todas a regressões foi possível garantir o atendimento aos pressupostos necessários a uma regressão linear múltipla, a saber:

- a. normalidade de resíduos: a normalidade é testada por diferentes testes, como o Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk. A relevância da não normalidade está relacionada a forma da distribuição transgressora, bem como com o tamanho da amostra.

Ainda que seja importante compreender como a distribuição se desvia da normalidade em termos de formato e se esses valores são grandes o bastante para garantir atenção, o pesquisador deve também considerar os efeitos do tamanho da amostra” .... “o tamanho da amostra tem o efeito de aumentar poder estatístico por redução de erro de amostragem. Isso resulta em um efeito semelhante aqui, no sentido de que amostras maiores reduzem os efeitos nocivos da não-normalidade. Em amostras pequenas de 50 ou menos observações, e especialmente se o tamanho da amostra é menor do que 30, desvios significantes da normalidade podem ter um impacto substancial sobre os resultados. Para amostras com 200 ou mais observações, porém, esses mesmos efeitos podem ser negligenciados. (HAIR, 2009, p. 83)

Assim como a assertiva de normalidade dos resíduos apenas será estrita para pequenas amostras ( $n < 100$ ), pode-se assumir a premissa de normalidade da distribuição dos resíduos, com base no Teorema do Limite Central (TLC).

[...]

Por outro lado, pode-se justificar a premissa da normalidade para grandes amostras, por uma forma generalizada do Teorema do Limite Central, o qual

se aplica também a uma média ponderada de grandes amostras de variáveis aleatórias, como é o caso do termo de erro, que se trata de uma combinação de variáveis aleatórias.

Então, seguindo tal teorema, assume-se, com base na literatura estatística vigente, que, em virtude do tamanho de nossa amostra ( $n=297$ ), pode-se relaxar o pressuposto de normalidade dos resíduos, continuando os estimadores a manterem os atributos de eficiência e consistência. (CORRAR, 2014, p. 211)

- b. homoscedasticidade dos resíduos: o conjunto de resíduos referentes a cada observação de X deve ter uma variância constante/homogênea, por toda a extensão das variáveis independentes, sendo testada, por exemplo através do teste de Pesarán-Pesarán (CORRAR, 2014).
- c. linearidade dos coeficientes: representa o grau em que a variação da variável dependente está relacionada a variável independente, de maneira linear
- d. ausência de autocorrelação serial dos resíduos: o modelo pressupõe que a correlação entre resíduos é zero ao longo do conjunto de variáveis independentes, ou seja, o efeito de uma observação de dada variável X é nulo sobre as observações seguintes. De outro modo, é a necessidade de independência de resíduos. É testado pelo teste de Durbin-Watson.
- e. multicolinearidade entre as variáveis independentes: a capacidade de uma variável independente melhorar a previsão da variável estudada está relacionada não somente a sua correlação com a variável em questão, mas também a correlação com as demais variáveis independentes já incluídas na equação. Logo, é importante que o pesquisador procure variáveis com baixa multicolinearidade entre as variáveis independentes a alta correlação com a variável dependente (HAIR, 2009).

A partir da definição da base de municípios participantes, foi definido o número de variáveis a serem colocadas para que se rodasse a regressão. Segundo Corrar (2014), uma boa relação entre número de variáveis da regressão e das unidades de análise, é que o primeiro não passe de 10% do segundo, assim no caso desse estudo com 394 municípios como unidade de análise, o número de variáveis da regressão foi limitado a 39 entre as disponíveis no SNIS, conforme tabela abaixo:

**Quadro 10.** Variáveis utilizadas nas regressões do estudo.

Variável	Definição	Unidade	Tipo de variável	Código SNIS
Código do município	Código municipal IBGE	n/a	Nominal	n/a
Município	Nome do município	n/a	Nominal	n/a

<b>UF</b>	Unidade Federativa do município	n/a	Nominal	n/a
<b>1 pref*</b>	Agente responsável pela coleta seletiva: prefeitura	Ator		
<b>2 emp</b>	Agente responsável pela coleta seletiva: cooperativa	Ator		
<b>2_3</b>	2 ou 3 vezes por semana	%	Contínua	Co135
<b>3 coop*</b>	Agente responsável pela coleta seletiva: empresas	Ator		
<b>4 mist</b>	Agente responsável pela coleta seletiva: Misto	Ator	Nominal	n/a
<b>BALANÇA</b>	Uso de Balança	Existência	Nominal	Co021
<b>CAT_DISP</b>	Existência de catadores dispersos	Existência	Nominal	Ca004
<b>CAT_ORG*</b>	Existência de organização formal	Existência	Nominal	Ca005
<b>COMPAC_10000*</b>	Caminhão compactador	uni/10000hab	Contínua	n/a
<b>CONTAINER</b>	Coleta com elevação de contêiner	Existência	Nominal	Co131
<b>CS_PP_PREF</b>	Porta a porta em dias específicos	Ator	Nominal	Cs027
<b>CS_TOT*</b>	Total de resíduos coletado seletivamente	Tonelada	Contínua	Cs026
<b>CUSTO_CS_TON*</b>	Custo da tonelada coletada seletivamente	n/a	Contínua	R\$/ton.
<b>CUSTO_TON_COL*</b>	Custo unitário da coleta	R\$/tonelada	Contínua	IN023
<b>DESP_CONTRADAS*</b>	Incidência de despesas com empresas contratadas	%	Contínua	IN004
<b>DESP_PERCAPITA*</b>	Despesas per capita com RSU	R\$/habitante	Contínua	IN006
<b>DESP_RSU_PREF</b>	Incidência de despesas com RSU na prefeitura	%	Contínua	IN003
<b>DIARIA</b>	Diária	%	Contínua	Co134
<b>IDEB*</b>	IDEB anos iniciais em 2018	n/a	Contínua	n/a
<b>IDHM 2010</b>	IDMH municipal em 2010	n/a	Contínua	n/a
<b>INC_CUS_COL_MAN*</b>	Incidência do custo da coleta no custo total do manejo	%	Contínua	IN024
<b>INC_TRAB_COL_MAN</b>	Incidência de empregada coleta no total de empregados no manejo	%	Contínua	IN025
<b>KG_CS_PERCAPITA*</b>	Massa per capita recolhida via coleta seletiva	kg/ (hab. x ano)	Contínua	IN054

<b>KG_REC_PERCAPITA*</b>	Massa recuperada per capita	Kg/ (hab. x ano)	Contínua	IN032
<b>NOTURNA*</b>	Coleta noturna	Existência	Nominal	Co008
<b>PERC_POP_URB*</b>	Percentual População urbana	%	Contínua	n/a
<b>PIB_PCP_CORRENTE</b>	PIB municipal corrente percapita	R\$/ano	Contínua	n/a
<b>POP_TOT*</b>	Total População	Habitante	Contínua	n/a
<b>PRODUTIVI</b>	Produtividades média de coletadores e motorista	Kg/empregado x dia	Contínua	IN018
<b>RDO_HAB_AT</b>	Massa RDO coletada per capita em relação à pop. total atendida	Kg/ (hab. dia)	Contínua	IN022
<b>RDO_RPU</b>	Ocorrência de coleta de RPU junto com RDO	Existência	Nominal	Co154
<b>REMESSA*</b>	Remessa para outros municípios	Existência	Nominal	Co019
<b>SEMANAL</b>	1 vez por semana	%	Contínua	Co136
<b>TAXA</b>	Existência de taxa	Existência	Nominal	FN201
<b>TRAB_1000_HAB*</b>	CALCULOS EMPREGADOS POR 1000	n/a	Contínua	n/a
<b>TRAB_SOCIAL*</b>	Existência de trabalho social executado pela prefeitura	Existência	Nominal	Ca008
<b>TX_COB_TOT*</b>	Taxa cobertura da coleta RDO em relação à pop. Total	%	Contínua	IN015
<b>TX_CS_URB*</b>	Taxa de cobertura da col. Seletiva porta-a-porta em relação a pop. Urbana	%	Contínua	IN030
<b>TX_EMPR_PROP*</b>	incidência de empregados próprios	%	Contínua	IN007
<b>TX_PORTA</b>	Taxa. cobertura de coleta direta RDO relativo à pop. urbana	%	Contínua	IN014
<b>TX_RECU*</b>	Taxa de recuperação de recicláveis em relação à quantidade de RDO e RPU	%	Contínua	IN031
<b>TX_TERCE*</b>	Taxa de terceirização da coleta	%	Contínua	IN017

Fonte: elaborado pelo autor

\* variáveis que apareceram em ao menos uma das regressões

Os principais resultados das cinco regressões estão apresentados na tabela a seguir. Cada regressão será detalhada no decorrer do trabalho.

**Tabela 8.** Resultados da regressão linear múltipla.

	R quadrado	Erro padrão da estimativa	Durbin-Watson
Y1	0,488	0,203	1,983
Y2	0,911	0,080	2,009
Y3	0,722	0,137	1,795
Y4	0,655	1,376	1,846
Y5	0,694	0,873	2,087

Fonte: elaborado pelo autor.

A partir dos resultados da regressão é possível destacar quais são os elementos que possuem uma relação positiva (aumentam ou são sintoma de alta do indicador estudado), bem como aqueles que possuem uma relação negativa (diminuem ou são sintoma de queda do indicador estudado), permitindo assim identificar os fatores explicativos para o desempenho da coleta seletiva nos municípios estudados, considerando as dimensões propostas.

Nas próximas sessões traram individualmente de cada regressão e seus fatores explicativos. Discussões aprofundadas a respeito das implicações desses achados, bem como suas relações com outras dimensões, serão realizadas no capítulo de discussão.

#### **4.3.1 Y1 – dimensão ambiental, percentual de recuperação de material coletado seletivamente**

Considera-se como sendo a dimensão ambiental da coleta seletiva. O indicador diz respeito sobre a relação entre o total de material recuperado após triagem, com o total de material coletado seletivamente. Tem como objetivo avaliar a capacidade da coleta seletiva em possibilitar a recuperação de material, permitindo por um lado a maior eficiência da etapa de triagem e por outro diminuindo a pressão por disposição final em aterro.

O indicador foi calculado a partir de dois indicadores existentes na base do SNIS, todos com 100% de preenchimento para o universo de municípios definido por esse estudo. Os indicadores que compõem esse cálculo e sua respectiva definição existente no SNIS são:

#### **Quadro 11.** Composição Y1 - dimensão ambiental, percentual de recuperação de material coletado seletivamente

<b>CODIGO DO INDICADOR</b>	<b>DEFINIÇÃO</b>	<b>UNIDADE</b>
----------------------------	------------------	----------------

<b>CS026</b>	quantidade recolhida pelos quatro agentes executores da coleta seletiva: valor anual (toneladas) do resultado da soma das quantidades de resíduos sólidos recolhidos, por meio do serviço de coleta seletiva por todos os agentes - público, privado, associações de catadores e outros que detenham parceria com a Prefeitura - no final do ano de referência. Excluem-se quantidades de matéria orgânica quando coletadas de forma exclusiva	Tonelada/ano.
<b>CS009</b>	quantidade total de materiais recicláveis recuperados. Quantidade anual de materiais recicláveis recuperados (exceto matéria orgânica e rejeitos) coletados de forma seletiva ou não, decorrente da ação dos agentes executores, ou seja, Prefeitura, empresas contratadas por ela, associações de catadores e outros agentes, não incluindo, entretanto, quantidades recuperadas por catadores autônomos não-organizados nem quantidades recuperadas por intermediários privados ('sucateiros'). Considera-se como Prefeitura qualquer órgão da administração direta centralizada (secretaria, departamento, divisão ou seção) ou descentralizada (empresa ou autarquia)	? ton/ano?
<b>Equação do indicador</b>	$Y1 = \frac{CS009}{CS026}$	

Fonte: SNIS 2018, elaborado pelo autor

As tabelas a seguir são resultados da regressão linear múltipla para o respectivo indicador.

**Tabela 9.** Fatores explicativos Y1

Variáveis	Coeficientes padronizados		
	Beta	Sig.	VIF
<b>Massa <i>per capita</i> recolhida via coleta seletiva</b>	-0,8566	0,0000*	3,2151
<b>Massa recuperada <i>per capita</i></b>	0,6938	0,0000*	2,7322
<b>Coleta realizada pela prefeitura</b>	0,1309	0,0039*	1,2803
<b>Existência de trabalho social executado pela prefeitura</b>	0,1119	0,0070*	1,0771
<b>Total de resíduos coletado seletivamente</b>	-0,3893	0,0000*	4,8220
<b>População municipal total</b>	0,2842	0,0009*	4,5457
<b>Perceptual População urbana</b>	0,1343	0,0153*	1,9225
<b>Taxa de terceirização da coleta</b>	-0,1329	0,0033*	1,2760
<b>Caminhão compactador por 10000/hab.</b>	-0,1107	0,0144*	1,2830
<b>Despesas <i>per capita</i> com RSU</b>	0,0940	0,0453*	1,3847

Fonte: elaborado pelo autor

\*significante a 5%



Dos municípios analisados, maiores volumes de coleta seletiva (seja o total de resíduos coletado seletivamente, seja a massa *per capita* recolhida via coleta seletiva) estão negativamente relacionados a taxa de recuperação de materiais, isto é, quanto maior o volume coletado seletivamente no município, menor o percentual de recuperação de material reciclável.

Coleta seletiva realizada pela prefeitura aparece como um fator de melhora na proporção de resíduo recuperado. Contudo os dados não permitem afirmar que exista um agente realizador da coleta (empresas, prefeituras e/ou cooperativas), que impacte negativamente na recuperação de material.

Por outro lado, nossos dados demonstram que taxas maiores de terceirização da coleta seletiva, analisando o percentual de volume coletado por outros atores que não o poder público municipal, se relacionam negativamente com a recuperação de material.

Municípios onde a prefeitura executa algum tipo de trabalho social junto às organizações de catadores de material reciclável apresentaram melhor desempenho na recuperação de material. Importante destacar que a questão existente no instrumento do SNIS não especifica qual tipo de trabalho é realizado.

A população municipal total, bem como o percentual de população urbana, apresenta relação positiva com a recuperação de materiais coletado seletiva, isto é, em municípios com população maior e maior taxa de urbanização, o percentual de recuperação de materiais também foi mais alto, quando comparado a municípios com outras características. Além disso, o número de caminhão compactador por 10.000 habitantes, apresentou relação negativa com a recuperação de material reciclável.

As despesas *per capita* com RSU, que considera todos os gastos com RSU pelo município, não discriminando exatamente qual a categoria dessa despesa, apresentou relação positiva com a recuperação de material reciclável.

#### **4.3.2 Y2: dimensão social, abrangência da política pública**

Considera-se como sendo a dimensão social da coleta seletiva. O indicador diz respeito sobre a relação entre o total de material coletado seletivamente, com o total de material coletado no município estudado. Tem como objetivo avaliar a capacidade da coleta seletiva permitir a coleta do material em seu ponto de origem, evitando a contaminação do material reciclado por outros tipos de resíduos, permitindo por um lado a maior eficiência da etapa de triagem e por outro diminuindo a pressão por disposição final em aterro.

O indicador foi calculado a partir de dois indicadores existentes na base do SNIS, todos com 100% de preenchimento para o universo de municípios definido por esse estudo. Os indicadores que compõem esse cálculo e sua respectiva definição existente no SNIS são:

**Quadro 12.** Composição Y2 - dimensão social, abrangência da política pública.

<b>CODIGO DO INDICADOR</b>	<b>DEFINIÇÃO</b>	<b>UNIDADE</b>
<b>CS026</b>	quantidade recolhida pelos quatro agentes executores da coleta seletiva: valor anual (toneladas) do resultado da soma das quantidades de resíduos sólidos recolhidos, por meio do serviço de coleta seletiva por todos os agentes - público, privado, associações de catadores e outros que detenham parceria com a Prefeitura - no final do ano de referência. Excluem-se quantidades de matéria orgânica quando coletadas de forma exclusiva	Tonelada/ano.
<b>CO119</b>	quantidade total de RDO e RPU coletada por todos os agentes: valor anual da soma das quantidades totais de RDO e RPU coletadas por todos os agentes mencionados, públicos, privados e outros agentes, exceto cooperativas de catadores. Não inclui quantidades coletadas de resíduos dos serviços de saúde (RSS) e resíduos da construção civil (RCC).	
<b>Equação do indicador</b>	$Y1 = \frac{CS026}{CO119}$	

As tabelas a seguir são resultados da regressão linear múltipla para o respectivo indicador.

**Tabela 10.** Fatores explicativos Y2.

<b>Variáveis</b>	<b>Coefficientes padronizados</b>		
	<b>Beta</b>	<b>Sig.</b>	<b>VIF</b>
<b>Massa per capita recolhida via coleta seletiva</b>	0,9870	0,0000*	3,0038
<b>Taxa de recuperação</b>	0,7536	0,0000*	3,5765
<b>Massa recuperada per capita</b>	-0,7396	0,0000*	5,6792
<b>Coleta realizada pela Cooperativa</b>	-0,0526	0,0021*	1,0495
<b>Coleta realizada pela Prefeitura</b>	-0,0560	0,0019*	1,1628
<b>Despesas per capita com RSU</b>	-0,0969	0,0001*	2,1055
<b>Custo unitário da coleta</b>	0,0688	0,0006*	1,4523
<b>Empregados por 1000 hab.</b>	0,0583	0,0051*	1,5566
<b>Taxa cobertura da coleta RDO em relação à pop. Total</b>	0,0443	0,0318*	1,5359
<b>IDEB anos iniciais em 2018</b>	0,0366	0,03318	1,0649

Fonte: elaborado pelo autor

\*significante a 5%

A massa *per capita* recolhida via coleta seletiva tem efeito positivo no desempenho do indicador Y2 nos municípios analisados, uma vez que esse indicador busca justamente avaliar a abrangência da política pública de coleta seletiva de maneira indireta, olhando para os volumes que cada município coleta seletivamente.

A abrangência da coleta seletiva (Y2) está relacionada positivamente com a taxa de recuperação. Municípios que têm uma maior abrangência da política de coleta de coleta seletiva são também municípios que têm maior taxa de recuperação, uma vez que maiores volumes direcionados às centrais de triagem permitem que haja a recuperação do material.

Por outro lado, quando se olha para o volume recuperado per capita, nota-se uma relação negativa com Y2. Esse achado coloca em posições distintas a influência dessa variável, quando olhamos para seu impacto no indicador Y1, apresentado anteriormente.

Coleta seletiva realizada pela prefeitura e/ou por cooperativas tem relação negativa com a abrangência da coleta seletiva, por outro lado não houve relação positiva com outro ator realizando essa tarefa, não podendo ser possível afirmar qual a melhor estratégia a ser adotada.

Despesas *per capita* com resíduos sólidos apresentou relação negativa com abrangência da coleta seletiva, sugerindo que o aumento da abrangência da coleta seletiva nos municípios, não passa necessariamente por um aumento nos gastos. Por outro lado, a alocação específica de recursos financeiros (custo unitário da coleta) e humano (trabalhadores por 1.000 habitantes), apresentaram relação positiva com o aumento da abrangência da política pública. Esses três indicadores em conjunto parecem demonstrar que há sim a necessidade de alocação de recursos, mas de maneira qualificada.

A taxa de cobertura de coleta de RDO em relação a população total é sintoma de abrangência da coleta seletiva está relacionada a existência de uma estrutura robusta de coleta tradicional.

Por fim nossos dados demonstram que municípios com maior IDEB nos anos iniciais em 2018, apresentaram maior abrangência na política pública de coleta seletiva.

#### **4.3.3 Y3 – dimensão econômica, relação custo-benefício das práticas municipais**

Considera-se como sendo a dimensão econômica da coleta seletiva. O indicador diz respeito sobre a relação entre o total de custo com coleta seletiva, com o total de custo da coleta tradicional. Tem como objetivo avaliar a alocação de recursos em coleta seletiva,

permitindo por um lado a maior eficiência da etapa de triagem e por outro diminuindo a pressão por disposição final em aterro.

O indicador foi calculado a partir de dois indicadores existentes na base do SNIS, todos com 100% de preenchimento para o universo de municípios definido por esse estudo. Os indicadores que compõem esse cálculo e sua respectiva definição existente no SNIS são:

**Quadro 13.** Composição Y3 - dimensão econômica, relação custo-benefício das práticas municipais.

<b>CODIGO DO INDICADOR</b>	<b>DEFINIÇÃO</b>	<b>UNIDADE</b>
<b>CS026</b>	quantidade recolhida pelos quatro agentes executores da coleta seletiva: valor anual (toneladas) do resultado da soma das quantidades de resíduos sólidos recolhidos, por meio do serviço de coleta seletiva por todos os agentes - público, privado, associações de catadores e outros que detenham parceria com a Prefeitura - no final do ano de referência. Excluem-se quantidades de matéria orgânica quando coletadas de forma exclusiva	Tonelada/ano.
<b>CS054</b>	Preço unitário do serviço de coleta seletiva porta a porta de RDO pago à empresa contratada no final do ano de referência. No caso de haver mais de uma empresa contratada para execução desse tipo de serviço adotar o valor médio.	R\$/Tonelada
<b>FN208</b>	Despesa total com o serviço de coleta de RDO e RPU. Valor anual da soma das despesas com os serviços de coleta de RDO e RPU realizadas por agentes privados e públicos	R\$/ano
<b>Equação do indicador</b>	$Y2 = \frac{CS026 * CS054}{FN208}$	

Fonte: SNIS 2018, elaborado pelo autor

As tabelas a seguir são resultados da regressão linear múltipla para o respectivo indicador.

**Tabela 11.** Fatores explicativos Y3.

<b>Variáveis</b>	<b>Coefficientes padronizados</b>		
	<b>Beta</b>	<b>Sig.</b>	<b>VIF</b>
<b>Massa recuperada per capita</b>	-0,4124*	0,0000	6,1447
<b>Despesas per capita com RSU</b>	-0,2490*	0,0000	2,5266
<b>Coleta noturna</b>	-0,1261*	0,0009	1,6295
<b>Custo unitário da coleta</b>	-0,1136*	0,0221	2,8301

<b>Incidência do custo da coleta no custo total do manejo</b>	-0,0927*	0,0462	2,4874
<b>IDEB anos iniciais em 2018</b>	0,0714*	0,0184	1,0533
<b>Incidência de despesas com empresas contratadas</b>	0,0759*	0,0224	1,2691
<b>Caminhão compactador</b>	0,0834*	0,0168	1,3960
<b>Taxa de cobertura da col. Seletiva porta-a-porta em relação a pop. Urbana</b>	0,1229*	0,0001	1,1777
<b>Custo unitário da coleta seletiva</b>	0,3023*	0,0000	1,1663
<b>Taxa de recuperação de recicláveis em relação à quantidade de RDO e RPU</b>	0,5642*	0,0000	4,0957
<b>Massa <i>per capita</i> recolhida via coleta seletiva</b>	0,7617*	0,0000	3,0317

Fonte: elaborado pelo autor

\*significante a 5%

A variável massa recuperada *per capita* apresentou relação negativa com o indicador estudado, o que é em teoria esperado, uma vez que municípios que recuperam maiores volumes, tem maiores custos com coleta seletiva.

Quanto maior as despesas *per capita* com resíduos sólidos urbanos maiores os custos da coleta seletiva, resultado em linha como o achado anterior. Importante destacar que essa variável inclui ao custo total com o manejo de RSU, considerando frentes como apoio a centrais de triagem, educação ambiental e outros.

A coleta noturna aparece como um elemento de aumento no custo total da coleta seletiva. Pelos dados não é possível explicar de que forma isso acontece, mas é possível afirmar que dentro da nossa amostra, municípios com execução de coleta seletiva apresentaram menores custos totais de coleta.

Municípios com IDEB maior no ano de 2018, apresentaram custos de coleta seletiva proporcionalmente maiores a municípios com IDEB baixo.

Os municípios com alta incidência de empresas contratadas, indicador que revela a taxa de terceirização da coleta, apresentaram proporcionalmente custos menores na participação do custo da coleta seletiva em relação ao custo total com coleta.

O uso de caminhão compactador pelos municípios tem relação positiva com o custo mais alto de coleta seletiva. Vale destacar que essa mesma variável apresentou relação negativa com o indicador Y1, da dimensão ambiental.

Quanto maior a taxa de coleta seletiva porta a porta maior o custo proporcional da coleta seletiva nos municípios estudados, evidenciando que ainda que exista a clara possibilidade de otimizar custos, há uma relação direta entre abrangência e custo.

Somando-se a tal achado, municípios com maior taxa de recuperação de materiais recicláveis apresentaram maiores custos proporcionais de coleta seletiva, isso pode ter relação com os maiores volumes coletados seletivamente por esses municípios,

como corrobora a relação positiva entre massa recolhida via coleta seletiva de custos maiores nesses municípios.

Por fim, variáveis de custo, como custo unitário da coleta e custo unitário da coleta seletiva, como esperado, apresentaram relação positiva com o indicador estudado.

#### 4.3.4 Y4 – custo proporcional da coleta seletiva

Considera-se como sendo a relação entre a dimensão econômica e a dimensão social da coleta seletiva. O indicador diz respeito sobre a relação entre o total o percentual coletado seletivamente, com percentual alocado em coleta seletiva. Tem como objetivo avaliar a alocação de recursos em coleta seletiva, considerando a abrangência dessa mesma coleta seletiva, permitindo entender com maior profundidade a qualidade das despesas municipais.

O indicador foi calculado a partir de dois indicadores existentes na base do SNIS, todos com 100% de preenchimento para o universo de municípios definido por esse estudo. Os indicadores que compõem esse cálculo e sua respectiva definição existente no SNIS são:

**Quadro 14:** Composição de Y4– custo proporcional da coleta seletiva.

<b>CODIGO DO INDICADOR</b>	<b>DEFINIÇÃO</b>	<b>UNIDADE</b>
<b>Y2</b>	Taxa de coleta seletiva frente ao total coletado no município	%
<b>Y3</b>	Custo da coleta seletiva frente ao custo total com coleta no município	
<b>Equação do indicador</b>	$Y4 = \frac{Y3}{Y2}$	

Fonte: SNIS 2018, elaborado pelo autor

**Tabela 12.** Fatores explicativos Y4.

<b>Variáveis</b>	<b>Coefficientes padronizados</b>		
	Beta	Sig.	VIF
<b>Custo da tonelada via coleta seletiva</b>	0,665	0,000*	1,044
<b>Custo da tonelada via coleta tradicional</b>	-0,495	0,000*	1,184
<b>Volume coletado por empresas contratadas</b>	0,188	0,000*	1,659
<b>Taxa de terceirização da coleta seletiva</b>	-0,136	0,001*	1,658
<b>Remessa de RSU para outros municípios</b>	-0,076	0,030*	1,133

Fonte: elaborado pelo autor

\*significante a 5%

O custo da tonelada via coleta seletiva apresentou relação positiva com indicador estudado, considerando os municípios estudados, sugerindo que gastos qualificados em coleta seletiva se “pagam” quando Considera-se o objetivo de expandir a abrangência do serviço à população. Corroborando a importância dos gastos qualificados, custos mais altos em coleta tradicional apresentam relação negativa com indicador observado.

A terceirização da coleta seletiva traz impactos negativos para a relação entre abrangência e custo com coleta seletiva, sugerindo que apesar dos ganhos de escala sugeridos em indicadores anteriores, isso não se traduz, necessariamente, em melhor alocação dos recursos.

Por fim, a remessa de resíduos para outros municípios, isto é, municípios que não possuem estrutura de aterros em sua própria área, apresentam maiores custos relativos à abrangência.

#### 4.3.5 Y5 – Custo da coleta seletiva proporcional à recuperação.

Considera-se como sendo a relação entre a dimensão econômica e a dimensão social da coleta seletiva. O indicador diz respeito sobre a relação entre o total o percentual coletado seletivamente, com percentual alocado em coleta seletiva. Tem como objetivo avaliar a alocação de recursos em coleta seletiva, considerando a abrangência dessa mesma coleta seletiva, permitindo entender com maior profundidade a qualidade das despesas municipais.

O indicador foi calculado a partir de dois indicadores existentes na base do SNIS, todos com 100% de preenchimento para o universo de municípios definido por esse estudo. Os indicadores que compõem esse cálculo e sua respectiva definição existente no SNIS são:

**Quadro 15.** Composição de Y5 - Custo da coleta seletiva proporcional à recuperação.

CODIGO DO INDICADOR	DEFINIÇÃO	UNIDADE
Y3	Custo da coleta seletiva frente ao custo total com coleta no município	%
Y1	Taxa de recuperação de material coletado seletivamente	
<b>Equação do indicador</b>	$Y5 = \frac{Y1}{Y3}$	

Fonte: SNIS 2018, elaborado pelo autor

**Tabela 13.** Fatores explicativos Y5.

Variáveis	Coeficientes padronizados		
	Beta	Sig.	VIF
<b>Empregados por 1000 hab.</b>	1,249	0,000*	2,871
<b>Recuperação de recicláveis per capita</b>	-1,000	0,000*	5,579
<b>Taxa de recuperação em relação ao volume total coletado</b>	,254	0,000*	3,485
<b>Coleta noturna</b>	-,157	0,000*	1,390
<b>Participação de empregados da prefeitura</b>	-,092	0,005*	1,145
<b>Despesa per capita com RSU</b>	-,131	0,000*	1,397
<b>Custa da tonelada via coleta seletiva</b>	,086	0,009*	1,111
<b>Existência de catadores organizados</b>	-,076	0,027*	1,218

Fonte: elaborado pelo autor

\*significante a 5%

O número de empregados por cada 1.000 habitantes, apresentou influência positiva para a relação estudada. É importante destacar que o indicador não especifica em qual etapa do processo o empregado em questão é alocado.

A influência da recuperação de recicláveis per capita, indicador que é obtido pelo volume anual per capita, apresentou relação inversa à taxa de recuperação em relação ao volume total coletado. Apesar da aparente contradição, é necessário destacar que são indicadores de natureza distinta, sendo um absoluto, outro relativo.

Corroborando achados anteriores, o uso de coleta noturna não aparece como sendo positivo tanto para indicadores mais absolutos (Y2), quanto para indicadores relativos, como no caso de Y5.

O número de empregados próprios, isto é, funcionários públicos, apresentou influência negativa na relação estudada por este indicador. É importante destacar que o indicador não especifica em qual etapa do processo o empregado em questão é alocado.

Como sugerido em achados anteriores o aumento de custo por si só não representa melhores resultados para a política pública. Na relação estudada por esse indicador, despesas per capita com RSU, não apresentou relação positiva, reforçando a necessidade de qualificação das despesas.

Por outro lado, custo da tonelada via coleta seletiva apresentou influência positiva para a relação em questão, corroborando a necessidade de qualificação das despesas do poder público.



A existência de catadores organizados no município apresentou relação negativa para esse indicador. É importante destacar que o indicador não especifica detalhes de tal existência.

#### **4.3.6 Relações entre regressões**

Nessa sessão será feita uma discussão a respeito das relações entre regressões, variáveis comuns entre elas e variáveis exclusivas a cada uma das regressões analisadas, além da presença de tais variáveis como relevantes em uma ou mais das regressões estudadas para os indicadores Y1, Y2, Y3, Y4 e Y5.

Para analisar o processo de gestão de coleta seletiva nos municípios estudados, os indicadores que apareceram em ao menos uma das cinco regressões foram separados em quatro etapas considerando-se o processo existente. As etapas estabelecidas foram: geração, coleta, coleta seletiva e tratamento.

**Tabela 14.** Distribuição das variáveis relevantes no processo de gestão de RSU.

Etapas	Variáveis explicativas da regressão	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
		AMBIENTAL	SOCIAL	ECONÔMICO		
Geração	Despesas <i>per capita</i> com RSU	0,09	-0,1	-0,25		-0,13
	IDEB anos iniciais em 2018	0,04	0,07			
	Percentual População urbana	0,13				
	Total População	0,28				
Coleta	Caminhão compactador	-0,11		0,08		
	Custo unitário da coleta		0,07	-	0,11	-0,5
	Incidência de despesas com empresas contratadas			0,08	0,19	
	Incidência do custo da coleta no custo total do manejo			-	0,09	
	Coleta noturna			-	0,13	-
	Empregados por 1000 hab.		0,06			
	Taxa cobertura da coleta RDO em relação à pop. Total		0,04			
	Taxa de empregados próprios					-
Coleta Seletiva	Taxa de terceirização da coleta	-0,13			-	0,09
	Coleta realizada pela Prefeitura	0,13	-0,06		0,14	
	Coleta realizada pela Cooperativa		-0,05			
	Catadores organizados					-
	Total de resíduos coletado seletivamente	-0,39				0,08
	Custo unitário da coleta seletiva			0,3	0,67	0,09
	Massa per capita recolhida via coleta seletiva	-0,86	0,99	0,76		1,25
	Existência de trabalho social executado pela prefeitura	0,11				
Tratamento	Taxa de cobertura da col. Seletiva porta-a-porta em relação a pop. Urbana			0,12		
	Massa recuperada per capita	0,69	-0,74	-	0,41	-1
	Remessa de resíduos para outros municípios				-	0,08
	Taxa de recuperação		0,75	0,56		0,25

Fonte: elaborado pelo autor.

A etapa de geração inclui fatores que não estão diretamente relacionados com a atuação do poder público municipal, uma vez que são fatores exógenos à gestão de RSU, em geral, fatores demográficos, ou consequência da estrutura de despesas do município, que influenciam a participação dos custos com coleta, de maneira indireta. Esses fatores possuem grande influência no resultado de geração, seja considerando quantidade e qualidade. A partir dos fatores presentes nas equações estudadas, quatro deles foram alocados nessa etapa, são eles: despesa *per capita* com resíduos sólidos, IDEB nos anos iniciais referente ao ano de 2018, percentual de população urbana e o total da população.

Nesta etapa a variável despesas per captas com RSU apresentou relação com 4 das 5 regressões estudadas, mas a relação não foi homogênea. Em relação a dimensão

ambiental, a variável apresentou uma relação positiva, demonstrando a importância dos investimentos públicos para garantir a qualidade do processo de coleta seletiva. Por outro lado quando analisadas as dimensões social (Y2) e econômica (Y3 e Y5), a relação da variável foi negativa, sugerindo que não basta o aumento de investimentos para que se alcance a eficiência da coleta seletiva, para o aumento da abrangência. Dessa forma, investimentos aumentados sem garantia de qualidade e boa alocação, não se traduzem em bons resultados globais no processo de gestão da coleta seletiva.

A variável IDEB apresentou relação com duas das regressões estudadas (Y2 e Y3). Considerando a relação com Y2, pode-se inferir que municípios com maior IDEB, são também municípios com melhor estrutura dos serviços urbanos, entre eles o serviço de coleta e, também, municípios com maior dispêndio público em serviços de atendimento à população, como a prestação de serviços de coleta de RSU.

As variáveis percentual de população urbana e população urbana total, apresentaram relação somente com a regressão da dimensão ambiental. Este achado sugere município mais urbano ou sem serviços de coleta seletiva, melhor estruturados

O impacto quantitativo dessa etapa nas regressões também variou de maneira significativa. A dimensão ambiental foi impactada por 3 das 4 variáveis existentes nesta etapa. Esse achado reforça a importância da análise de fatores demográficos no estudo de gestão de RSU. Dimensões social e econômica sofrem influência menor desses aspectos, sendo que o indicador Y4 não teve nenhuma variável como influência, sendo essa uma regressão que olha, justamente, para a relação entre as dimensões social e econômica.

Na etapa de coleta foram incluídos fatores que se relacionam apenas com as operações de coleta, mas não especificamente com a coleta seletiva. Assim, foram considerados os fatores: uso de caminhão compactador, custo unitário da coleta, incidência das despesas com empresas contratadas, incidência do custo da coleta no custo total de manejo com resíduos sólidos, realização de coleta noturna, número de empregados a cada 1.000 habitantes e a taxa de cobertura de resíduos em relação à população total.

Nesta etapa de coleta a regressão Y1 foi a menos impactada por variáveis estudadas, sugerindo a necessidade de análises que considerem o processo de gestão de RSU como sendo composto por dois processos quase distintos, ainda que sejam profundamente relacionados. A única variável que impactou essa dimensão foi o uso de caminhão compactador, com influência negativa.

A dimensão social foi impactada por variáveis econômicas e /ou de estrutura, como valor da coleta, quantidade de empregados próprios e taxa de cobertura da coleta tradicional, todas com influência positiva nessa dimensão, o que ilustra a necessidade de estruturas robustas para o atendimento à população.

As regressões econômicas, Y3 Y4 e Y5, foram as que apresentaram o maior número relações com as variáveis desta etapa, sendo que, quando considerado o grupo de regressões, todas as variáveis alocadas nessa etapa apresentaram influência. Ainda assim, as influências não foram uniformes em todas as regressões, quando Considera-se a variável custo unitário da coleta tradicional. Tal achado demonstra a importância da análise de custo-benefício da escolha de investimento.

Na etapa de coleta seletiva foram considerados fatores diretamente relacionados a ela, como ator responsável pela coleta seletiva (prefeitura ou cooperativa), existência ou não de catadores organizados no município, total de resíduos coletados seletivamente, custo unitário da coleta seletiva, massa *per capita* recolhida via coleta seletiva, existência de trabalho social executado pela prefeitura junto à organização de catadores e a taxa de cobertura da coleta seletiva porta porta em relação à população urbana.

A etapa de coleta seletiva foi a que apresentou variáveis influenciando de maneira mais proporcional todas as regressões estudadas, isto é, dentre as variáveis escolhidas, houve equilíbrio significativo na distribuição de influência entre as regressões. Esse fato sugere, como esperado, a necessidade de maiores estudos e atenção por parte dos municípios na elaboração e implantação de estratégias de coleta seletiva.

É possível destacar nessa etapa o comportamento conflitante de duas das variáveis. A variável coleta seletiva realizada por prefeitura impacta positivamente o indicador Y1 (ambiental), enquanto impacta negativamente o indicador Y2 (social), ilustrando conflitos inerentes e naturais às escolhas da gestão pública. O mesmo raciocínio pode ser aplicado a variável volume coletado via coleta seletiva, com impacto negativo na dimensão ambiental e positivo nas demais dimensões.

Por fim, na etapa chamada de tratamento, foram considerados fatores relacionados ao tratamento de resíduos e a destinação final dos mesmos. Os fatores considerados foram massa recuperada per capita, remessa de resíduos para outros municípios e a taxa de recuperação de materiais recicláveis. A variável de recuperação per capita teve influência em 4 das 5 regressões estudadas, sendo que assim como na etapa anterior, de coleta seletiva, ela apresenta influência contrária quando considerada a dimensão ambiental em relação à influência nas demais dimensões.

Figura 8. Distribuição em rede dos indicadores e variáveis relevantes.



Fonte: elaborado pelo autor.

Com objetivo de permitir uma análise mais complexa das interações entre as variáveis que influenciaram ao menos uma das regressões estudadas, foi efetuado um estudo baseado no conceito de teoria de redes, resultando na criação de um mapa mental, com as variáveis foram distribuídas espacialmente.

Em complementaridade com os achados da etapa anterior desse trabalho, a figura demonstra a interdependência dos indicadores e as variáveis de influência, de modo a corroborar a necessidade de uma análise sistêmica do processo de gestão da coleta seletiva, para garantir que se atinja por um lado o objetivo proposto de recuperação de materiais e o atendimento da população com o serviço e, por outro, lado o equilíbrio econômico das atividades.

Na figura resultante desse processo, os indicadores criados (Y1, Y2, Y3, Y4 e Y5) estão mais ao centro da imagem representados por círculos brancos, sem preenchimento.

As variáveis de influência são círculos coloridos, em que cada cor representa em qual das quatro etapas definidas anteriormente, geração, coleta, coleta seletiva e tratamento. O tamanho do círculo em que a variável se encontra, indica o número de relações que esta possui com os indicadores criados pelos autores do trabalho, isto é, variáveis que influenciaram mais indicadores estão em círculos maiores. O maior número de relações estabelecidos por uma variável foi com quatro regressões. Por fim, a cor da linha indica se a relação é positiva, linhas verdes, ou se a relação é negativa, linhas vermelhas.

A distribuição dos fatores apontados por nossos dados demonstra a natureza diversa das influências sobre um sistema de gestão de coleta seletiva. Todos os indicadores foram afetados por variáveis de todas as etapas, ainda que seja possível destacar que a dimensão ambiental (Y1) tenha sido influenciada por apenas uma variável da etapa de tratamento.

Fatores classificados por este trabalho como estão na etapa de geração, como elementos demográficos (tamanho da população e proporção da população urbana), IDEB e econômicos, influenciam todos os indicadores, exceto Y4. Mas é importante destacar, que elementos relacionados ao tamanho populacional e urbanização, influenciam exclusivamente a dimensão ambiental, ambas com influência positiva.

A variável IDEB não apresenta relação negativa com nenhum dos dois indicadores que têm relação, isto é, municípios com melhores índices no IDEB, são

municípios que apresentaram melhores parâmetros nos indicadores Y2 (social) e Y3 (econômico).

Já despesas *per capita* com RSU, variável que não é possível de ser alocada especificamente em nenhuma das outras etapas, e que possui relação direta com o tamanho populacional, é uma das variáveis que apresentou relação com o maior número de indicadores, com quatro no total. Importante destacar que sua relação com apenas uma delas é positiva, a dimensão ambiental, enquanto com os demais indicadores Y2 (social), Y3 e Y5 (indicadores econômicos), possui relação negativa. Era esperado, matematicamente, tal relação com dimensão econômica, mas chama atenção a atenção negativa com a abrangência da política pública.

Na etapa de coleta pode-se verificar maior impacto nas dimensões social e econômica, com apenas uma variável impactando a dimensão ambiental. Além disso, a variável que impacta Y3 nessa etapa (caminhão compactador por 1.000 habitantes), a impacta em sentido contrário ao impacto que essa mesma variável tem no indicador Y3 (econômico).

A dimensão social é impactada por duas variáveis nessa etapa, sendo que somente uma delas é compartilhada com outra dimensão, a econômica e em sentido contrário de influência.

Destaca-se também o comportamento de influência homogêneo das variáveis dessa etapa na dimensão econômica, isto é, variáveis que impactam mais de um indicador econômico (Y3, Y4 ou e/ou Y5), conservam o vetor de influência, seja positivo, seja negativo. A dimensão econômica é a mais impactada por essa etapa.

Na etapa de coleta seletiva, todas as dimensões são impactadas, podendo ser possível afirmar que é a etapa que possui influência mais distribuída entre todos os indicadores, com variáveis que influenciam mais de um indicador e variáveis que influenciam exclusivamente, quatro dos cinco indicadores.

Por fim, a etapa de tratamento tem como destaque a capacidade de recuperação como fator de influência, sendo que as duas variáveis que impactam mais de uma dimensão nessa etapa são recuperação *per capita* de recicláveis e taxa de recuperação de recicláveis, sendo que o vetor de influência é no mesmo sentido nas dimensões social e econômica e em sentido contrário em relação à dimensão ambiental.

O indicador ambiental Y1 é o indicador mais isolado na imagem, entre os cinco criados por este estudo, sendo também o que apresenta o maior número de variáveis exclusivas (quatro). Ainda assim, o número de variáveis compartilhadas com ao menos

uma outra regressão é maior que as variáveis exclusivas, cinco compartilhadas contra quatro exclusivas. Em sua maioria apresentam relação em sentido contrário aos demais indicadores, isto é, variáveis positivas para Y3 são negativas para outros indicadores, ilustrando a necessidade de escolhas, *trade offs*, existentes no processo de gestão de coleta seletiva.

O indicador Y2 (social) possui influência de todas as etapas do processo, além de compartilhar a maior parte dessas com outros indicadores e poucas variáveis exclusivas. Ao contrário dos indicadores das dimensões econômica e ambiental, o indicador Y2 tem suas variáveis de influência distribuídas de maneira equilibrada entre todas as etapas, de forma que seu resultado não pode ser explicado ou modificado, atuando-se somente em uma delas.

Os indicadores Y3, Y4, e Y5, que são indicadores de natureza econômica compartilham entre si um número relevante de variáveis. Quando isolamos as variáveis que influenciam exclusivamente Y3, Y4 e Y5, seja um desses indicadores seja mais de um deles, mas sem influenciar os indicadores Y2 e Y1, podemos notar que as variáveis que são variáveis relacionadas à infraestrutura seja de coleta tradicional, seja de coleta seletiva, como por exemplo taxa de empregados próprios realização de coleta noturna contratação de empresas terceirizadas, remessa para outros municípios entre outras.

#### **4.4 O gerenciamento municipal de RSU nos diferentes níveis de recuperação de recicláveis**

O plano nacional de resíduos sólidos propõe sua meta quatro a redução da quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada, isto é, mesmo considerando a eliminação de lixões e aterros controlados, existe uma proposta de redução na disposição final mesmo por meios que estejam em acordo com a legislação.

Nesse mesmo documento, o indicador que aqui chamamos de taxa de recuperação, é chamado de índice de recuperação de resíduos (IRR). É considerado um dos principais indicadores deste documento, uma vez que se relaciona de maneira direta com os principais objetivos e princípios existentes na política nacional de resíduos sólidos.



As metas nacionais foram então estabelecidas considerando a necessidade de encerramento de lixões e aterros controlados, o fortalecimento de cadeias de logística reversa estímulo a reciclagem ao tratamento biológico e a recuperação energética. Em nosso trabalho Considera-se apenas a recuperação de material, não nos debruçamos sobre tratamento biológico e recuperação energética.

As metas de recuperação de material foram estabelecidas quadrienalmente para o período de 2020 a 2040, com metas regionais para as 5 regiões do Brasil e meta nacional. Foram estabelecidas as seguintes metas regionais e nacional no documento:

**Tabela 15.** Metas estabelecidas pelo PLANARES.

Região/Ano	2020	2024	2028	2032	2036	2040
Norte	1,2%	15,3%	18%	20,7%	23,5%	26,2%
Nordeste	1,6%	11,3%	15,1%	18,9%	22,8%	26,6%
Centro-Oeste	1,9%	13,4%	18,5%	23,6%	28,8%	33,9%
Sudeste	1,9%	14,3%	26,7%	39,1%	51,5%	63,9%
Sul	1,9%	17,1%	29,5%	41,9%	54,3%	66,7%
Brasil	2,2%	13,8%	22,4%	31%	39,6%	48,1%

Fonte: PLANARES (2020), elaborado pelo autor.

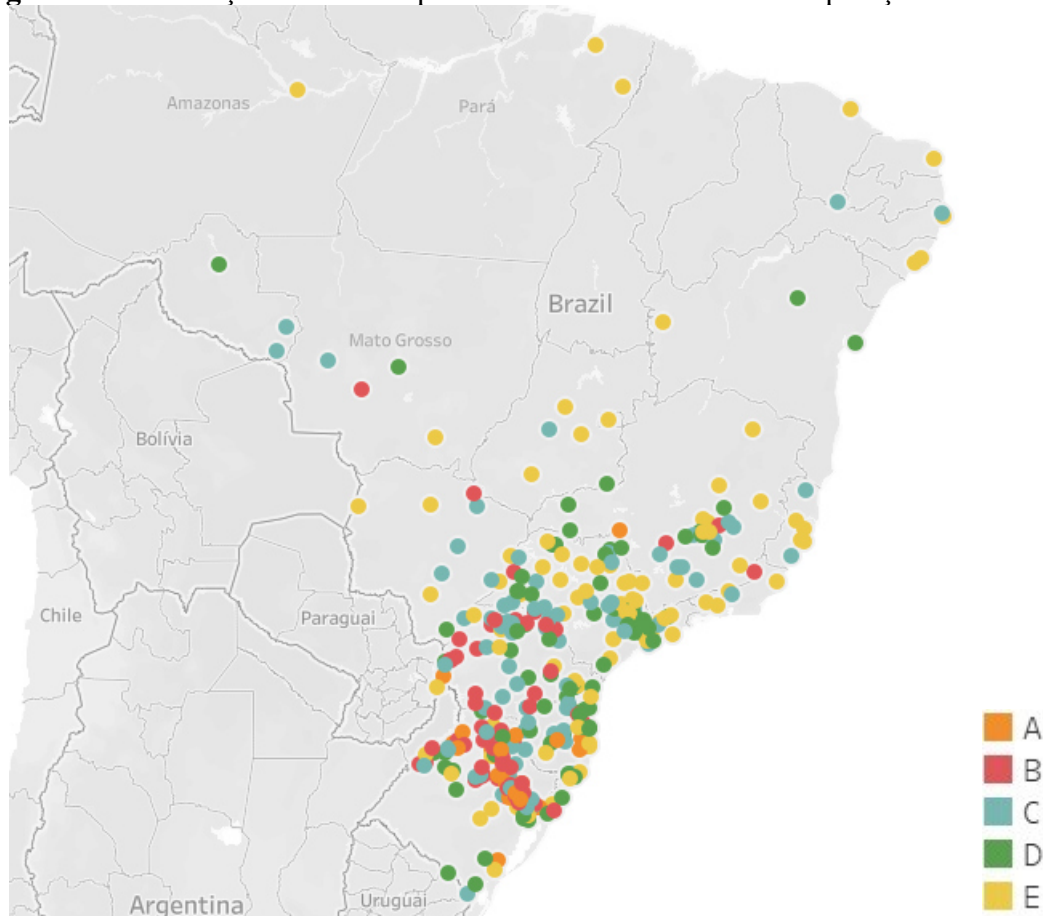
Considerando as metas estabelecidas no PLANARES, para o cenário nacional, bem como os resultados observados em nossa amostra, foram criadas 5 faixas de recuperação para serem analisadas. A saber:

**Tabela 16.** Faixas de recuperação propostas pelo estudo.

Faixa	Taxa reciclagem SNIS 2018 (%)
A	Maior que 20%
B	Entre 9,20 e 19,99%
C	Entre 5,70 e 9,19%
D	Entre 2,20 e 5,69%
E	Menor que 2,19%

Fonte: elaborado pelo autor.

A figura abaixo mostra a distribuição dos municípios da amostra pelo Brasil e classificados de acordo com a sua faixa de recuperação. É importante observar, como já ressaltado anteriormente no trabalho, que a maioria dos municípios da amostra se concentrou nos estados do sul e sudeste. Quando se analisa para os municípios distribuídos juntamente com a sua classificação de faixa de recuperação, pode-se notar que os municípios das faixas A e B estão concentrados quase integralmente no sul e sudeste, com exceção de Tangará da Serra/MT e Costa Rica/MS.

**Figura 9.** Distribuição dos municípios da amostra e faixas de recuperação.

Fonte: elaborado pelo autor.

Os municípios da amostra foram estratificados, em acordo com as faixas de recuperação estabelecidas. De forma que a divisão resultou na seguinte distribuição:

**Tabela 17.** Distribuição dos municípios por faixa de recuperação.

Faixa	Taxa reciclagem SNIS 2018 (%)	Número de municípios na faixa
A	Maior que 20%	33
B	Entre 9,20 e 19,99%	84
C	Entre 5,70 e 9,19%	54
D	Entre 2,20 e 5,69%	101
E	Menor que 2,19%	124
	Total	394

Fonte: elaborado pelo autor.

Com os municípios estratificados, calculou-se a mediana, máximo e mínimo valor de cada variável em cada estrato, para estudo do comportamento dessas variáveis em cada estrato.

A seguir serão apresentados os resultados de cada regressão considerando a distribuição de nossa amostra pelas faixas estabelecidas.

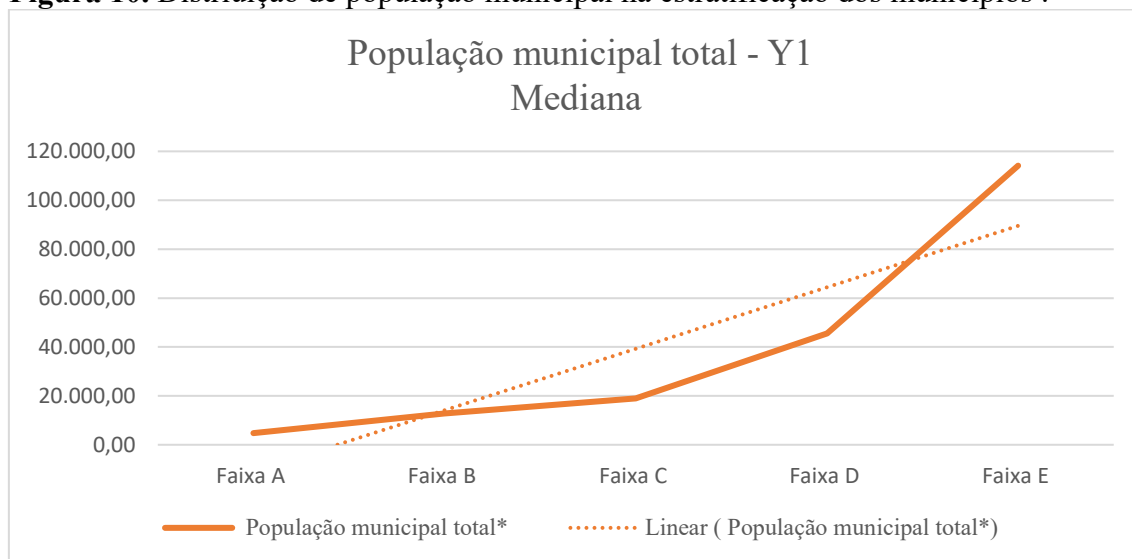
**Tabela 18.** Estratificação dos municípios na dimensão ambiental (Y1).

Y1 - Ambiental (volume recuperado / volume de coleta seletiva)			População municipal total*	Taxa de populaçã o urbana*	Taxa de terceirizaçã o da coleta seletiva*	Coleta seletiva feita por prefeituras *	Trabalho social junto a catadores*	Custo da tonelada via coleta tradicional*	Despesas per capita com RSU*	Caminhão compactador por 10000/hab.*	Volume total de coleta seletiva	Recuperaçã o de recicláveis recuperada per capita	Volume total de coleta seletiva
		Y1	habitante	%	%	ator	existênci a	R\$/tonelad a	R\$/habitant e	uni/10000ha b	t	Kg/(hab. x ano)	Kg/(hab . x ano)
<b>Geral (394 DMUs)</b>	<b>Mediana</b>	<b>0,70</b>	<b>33.281,50</b>	<b>87,68</b>	<b>99,47</b>	<b>51,00</b>	<b>30,00</b>	<b>199,33</b>	<b>110,31</b>	<b>0,74</b>	<b>626,50</b>	<b>14,43</b>	<b>22,37</b>
	Máximo	1,00	12.176.866,0 0	100,00	100,00			1321,72	734,17	7,73	76907,0 0	408,28	1005,92
	Mínimo	0,02	1.595,00	13,21	0,00			0,00	17,29	0,00	3,10	0,18	0,65
<b>Faixa A &gt; 20% (33 DMUs)</b>	<b>Mediana</b>	<b>0,52</b>	<b>4.775,00</b>	<b>51,63</b>	<b>100,00</b>	<b>3,00</b>	<b>4,00</b>	<b>322,49</b>	<b>141,61</b>	<b>0,79</b>	<b>540,00</b>	<b>91,69</b>	<b>212,01</b>
	Máximo	1,00	119.049,00	92,35	100,00			1027,01	480,43	7,34	8140,00	408,28	1005,92
	Mínimo	0,20	1.846,00	14,27	24,30			0,00	51,44	0,00	96,00	21,26	41,96
<b>Faixa B 9,20% &lt; x &lt; 19,99% (84 DMUs)*</b>	<b>Mediana</b>	<b>0,73</b>	<b>12.860,50</b>	<b>77,84</b>	<b>93,79</b>	<b>21,00</b>	<b>21,00</b>	<b>276,65</b>	<b>119,20</b>	<b>1,33</b>	<b>618,85</b>	<b>36,77</b>	<b>58,46</b>
	Máximo	1,00	504.069,00	99,40	100,00			499,41	584,24	5,05	23913,0 0	100,88	491,64
	Mínimo	0,09	2.100,00	16,82	0,00			0,00	20,69	0,00	67,80	19,62	20,22
<b>Faixa C 5,7% &lt; x &lt; 9,19% (54 DMUs)*</b>	<b>Mediana</b>	<b>0,80</b>	<b>18.964,00</b>	<b>82,07</b>	<b>97,47</b>	<b>42,00</b>	<b>42,00</b>	<b>249,57</b>	<b>112,81</b>	<b>1,09</b>	<b>435,00</b>	<b>20,68</b>	<b>28,12</b>
	Máximo	1,00	231.863,00	100,00	100,00			1321,72	734,17	6,21	17527,0 0	54,47	310,23
	Mínimo	0,10	1.611,00	23,28	0,00			0,00	30,21	0,00	26,00	6,29	9,66
<b>Faixa D 2,20% &lt; x &lt; 5,69% (101 DMUs)*</b>	<b>Mediana</b>	<b>0,78</b>	<b>45.557,00</b>	<b>90,67</b>	<b>99,76</b>	<b>39,00</b>	<b>33,00</b>	<b>171,84</b>	<b>99,94</b>	<b>0,68</b>	<b>720,00</b>	<b>11,03</b>	<b>16,23</b>
	Máximo	1,00	716.109,00	100,00	100,00			674,17	454,80	7,73	16000,0 0	36,15	637,68
	Mínimo	0,06	1.595,00	24,10	2,44			0,00	17,29	0,00	16,00	3,55	3,84
<b>Faixa E &lt; 2,19% (124 DMU's)</b>	<b>Mediana</b>	<b>0,68</b>	<b>114.147,00</b>	<b>95,40</b>	<b>100,00</b>	<b>31,00</b>	<b>35,00</b>	<b>169,72</b>	<b>106,24</b>	<b>0,59</b>	<b>720,00</b>	<b>3,84</b>	<b>6,25</b>
	Máximo	0,99	12.176.866,0 0	100,00	100,00			499,68	461,16	6,16	76907,0 0	18,24	555,56
	Mínimo	0,02	1.624,00	13,21	0,00			0,00	30,35	0,00	3,10	0,18	0,65

Fonte: elaborado pelo autor.

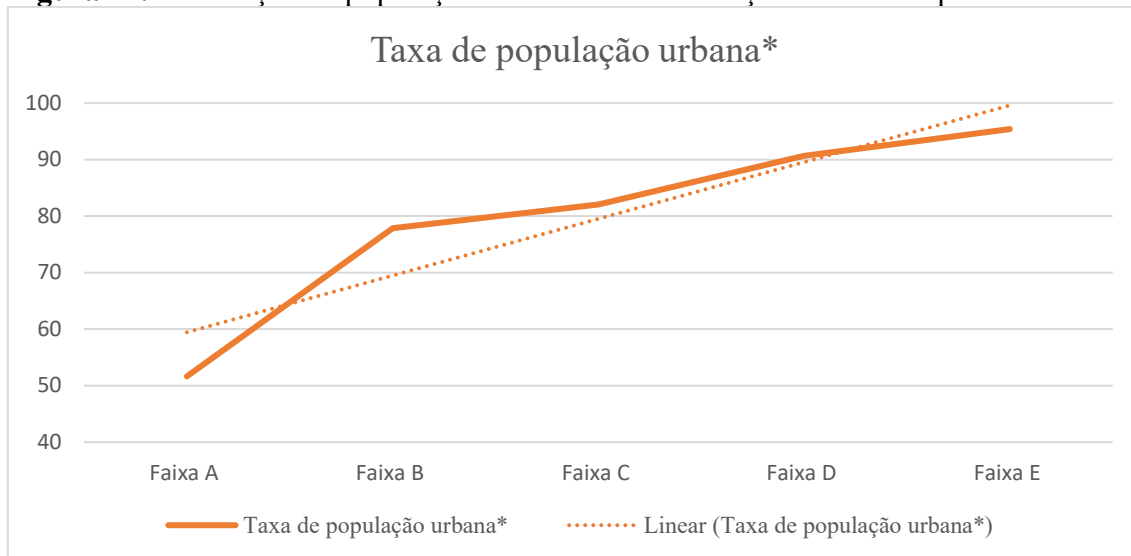
Nos municípios analisados a população total apresentou uma relação direta com a recuperação de material reciclável, ou seja, sendo que quanto menor a população municipal, considerando a mediana dos dados, maior a recuperação de material (figura 9). Não somente a mediana apresentou essa relação linear entre municípios menores com maior taxa de recuperação, mas os valores mínimos observados nesses grupos se comportaram da mesma maneira.

**Figura 10.** Distriuição de população municipal na estratificação dos municípios .



Fonte: elaborado pelo autor.

Ainda, quanto menor a taxa de população urbana maior foi a taxa de recuperação de material (figura10). Importante destacar que os municípios de nossa amostra coincidem menor população com menor taxa de urbanização, ainda assim destaca-se a linearidade da relação entre tamanho populacional e urbanização menor, com melhores índices de recuperação de material reciclável.

**Figura 11.** Distriuição de população urbana na estratificação dos municípios.

Fonte: elaborado pelo autor.

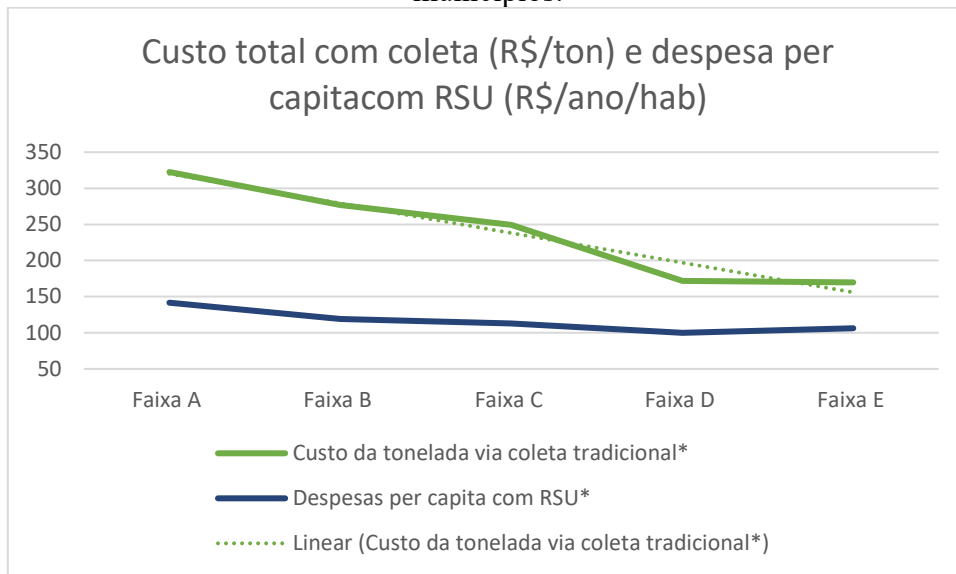
A terceirização da coleta, isto é, a realização da coleta de resíduos urbanos por empresas terceirizadas, ao contrário dos dois indicadores anteriores, não apresentou relação linear com a recuperação de material. A primeira faixa de municípios, apresenta mediana alta de terceirização, mas há queda importante nesse valor na faixa B, para que depois dessa faixa a participação das empresas suba linearmente até a faixa E, que repete o valor encontrado na faixa A.

Coleta seletiva realizada por prefeituras não apresentou comportamento linear, mas apresentou grande diferença entre as medianas no grupo estudado, sendo que municípios com melhor desempenho (faixa A) apresentaram participação do poder público muito menor que as demais faixas, que apresentaram comportamento relativamente próximo, em especial nas últimas faixas de recuperação (C, D e E).

Municípios com melhor taxa de recuperação são municípios que declaram resposta negativa para a existência de trabalho social junto catadores material reciclável. Contudo é importante salientar assim como na variável anterior, essa tampouco apresentou comportamento linear, apesar do destaque para a faixa A.

Municípios com maior custo de coleta (seja na análise do custo por tonelada ou por habitante), são municípios que apresentaram também maiores índices de recuperação de material reciclável, conforme ilustrado na figura abaixo.

**Figura 12.** Distriuição de do custo com coleta e despesa *per capita* na estratificação dos municípios.

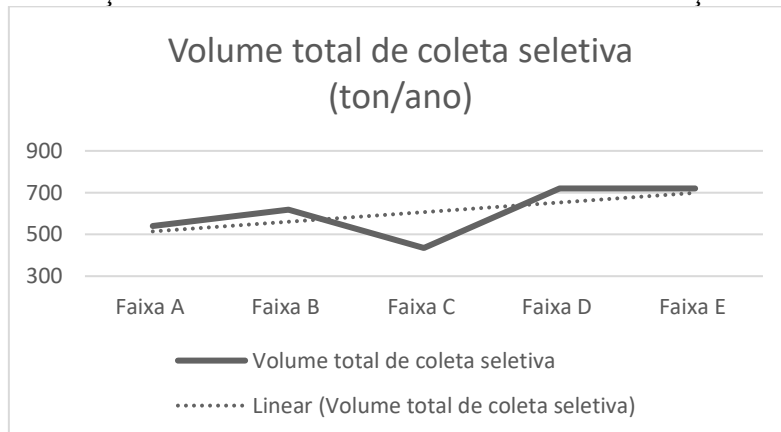


Fonte: elaborado pelo autor.

Uso de caminhão compactador não apresentou uma relação linear com as faixas de recuperações analisadas, além de não haver grandes diferenças entre os números observados em cada uma das faixas.

O volume total de coleta seletiva apresentou uma relação inversa a taxa de recuperação de material reciclável, isto é, quanto maior o volume coletado menor a taxa de recuperação de recicláveis. esse dado corrobora o dado de tamanho populacional uma vez que a geração de recicláveis tem relação direta com o tamanho da população. Há um destaque a ser feito nos municípios da faixa C, que desviaram da tendencia observadas nas demais faixas.

**Figura 13.** Distriuição do volume de coleta seletiva na estratificação dos municípios.



Fonte: elaborado pelo autor.

Por fim, como esperado, municípios com maiores taxas e volumes de recuperação, estão alocados nas faixas mais altas do nosso estudo.

**Tabela 19.** Estratificação dos municípios na dimensão social (Y2).

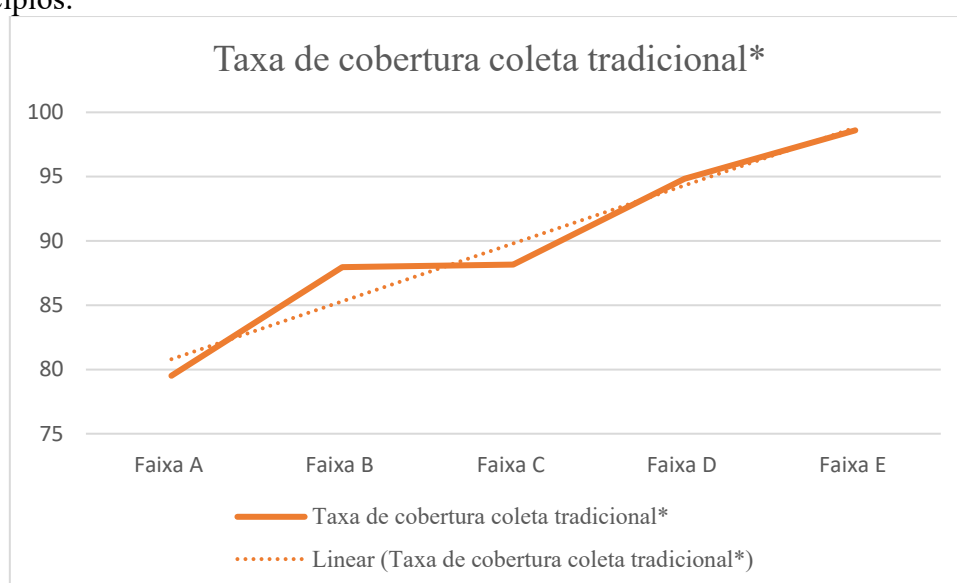
Y2 - Social (volume de coleta seletiva / volume total coletado)			IDEB 2018 anos iniciais	Taxa de cobertura coleta tradicional*	Coleta seletiva feita por prefeituras*	Coleta seletiva feita por cooperativas	Custo da tonelada via coleta tradicional*	Despesas per capitacom RSU*	Empregados na coleta 1000/hab.*	Taxa de recuperação em relação ao volume total coletado	Recuperação de recicláveis recuperada per capita	Volume total de coleta seletiva
	Unidade	Y2		%	ator	ator	R\$/tonelada	R\$/habitante		%	Kg/(hab. x ano)	Kg/(hab. x ano)
<b>Geral (394 DMUs)</b>	Mediana	0,07	<b>6,30</b>	94,21	51,00	3,00	199,33	110,31	1,55	4,80	14,43	22,37
	Máximo	1,00	7,70	100,00			1321,72	734,17	8,10	59,78	408,28	1005,92
	Mínimo	0,00	3,75	16,82			0,00	17,29	0,13	0,05	0,18	0,65
<b>Faixa A &gt; 20% (33 DMUs)</b>	<b>Mediana</b>	<b>0,98</b>	<b>6,30</b>	<b>79,51</b>	<b>3,00</b>	<b>0,00</b>	<b>322,49</b>	<b>141,61</b>	<b>1,96</b>	<b>28,64</b>	<b>91,69</b>	<b>212,01</b>
	Máximo	1,00	7,50	100,00			1027,01	480,43	7,58	59,78	408,28	1005,92
	Mínimo	0,24	5,10	27,07			0,00	51,44	0,28	20,00	21,26	41,96
<b>Faixa B 9,20 % &lt; x &lt; 19,99% (84 DMUs)</b>	<b>Mediana</b>	<b>0,20</b>	<b>6,20</b>	<b>87,95</b>	<b>21,00</b>	<b>4,00</b>	<b>276,65</b>	<b>119,20</b>	<b>1,68</b>	<b>12,68</b>	<b>36,77</b>	<b>58,46</b>
	Máximo	1,00	7,70	100,00			499,41	584,24	8,10	19,91	100,88	491,64
	Mínimo	0,10	3,75	16,82			0,00	20,69	0,30	9,21	19,62	20,22
<b>Faixa C 5,7% &lt; x &lt; 9,19% (54 DMUs)</b>	<b>Mediana</b>	<b>0,09</b>	<b>6,30</b>	<b>88,15</b>	<b>42,00</b>	<b>15,00</b>	<b>249,57</b>	<b>112,81</b>	<b>1,78</b>	<b>7,24</b>	<b>20,68</b>	<b>28,12</b>
	Máximo	0,75	7,50	100,00			1321,72	734,17	7,49	9,15	54,47	310,23
	Mínimo	0,06	4,50	34,51			0,00	30,21	0,45	5,70	6,29	9,66
<b>Faixa D 2,20% &lt; x &lt; 5,69% (101 DMUs)</b>	<b>Mediana</b>	<b>0,05</b>	<b>6,30</b>	<b>94,82</b>	<b>39,00</b>	<b>0,00</b>	<b>171,84</b>	<b>99,94</b>	<b>1,34</b>	<b>4,02</b>	<b>11,03</b>	<b>16,23</b>
	Máximo	1,00	7,70	100,00			674,17	454,80	6,77	5,60	36,15	637,68
	Mínimo	0,03	4,50	25,76			0,00	17,29	0,16	2,21	3,55	3,84
<b>Faixa E &lt; 2,19% (124 DMUS)</b>	<b>Mediana</b>	<b>0,02</b>	<b>6,28</b>	<b>98,60</b>	<b>31,00</b>	<b>7,00</b>	<b>169,72</b>	<b>106,24</b>	<b>1,39</b>	<b>1,20</b>	<b>3,84</b>	<b>6,25</b>
	Máximo	0,56	7,50	100,00			499,68	461,16	8,00	2,17	18,24	555,56
	Mínimo	0,00	4,15	50,50			0,00	30,35	0,13	0,05	0,18	0,65



Os dados não apresentaram relação linear indicando que quanto maior os índices do IDEB, maior é a recuperação de material reciclado. O comportamento dessa variável entre as diferentes faixas estabelecidas, não apresentou variação importante, mesmo quando olhamos para os valores máximos e mínimos observados em cada uma das faixas estabelecidas.

A taxa de cobertura da coleta tradicional não apresentou relação com as melhores recuperações de material reciclável, pelo contrário municípios com menores taxas de cobertura são municípios que estão nas melhores faixas de recuperação de material.

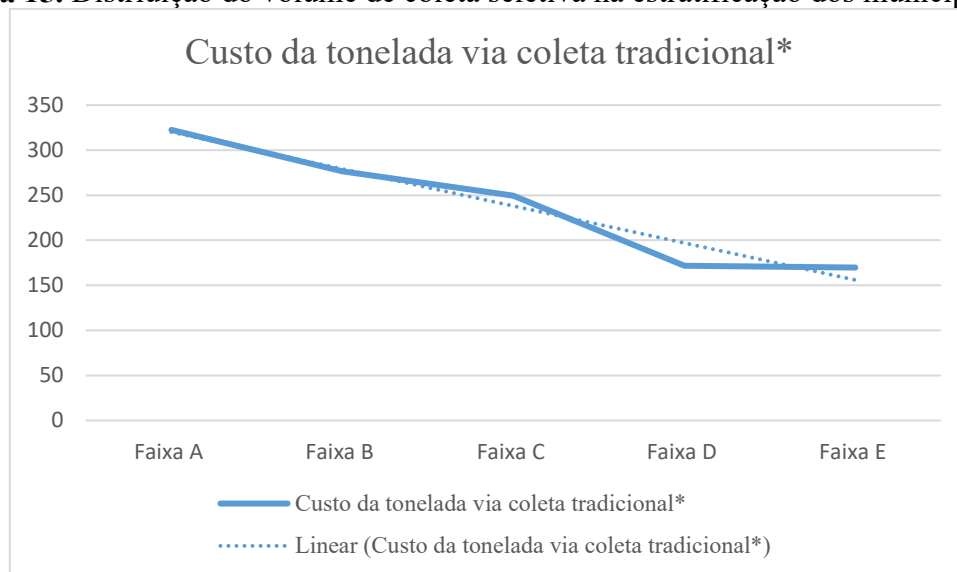
**Figura 14.** Distribuição da taxa de cobertura da coleta tradicional na estratificação dos municípios.



Fonte: elaborado pelo autor.

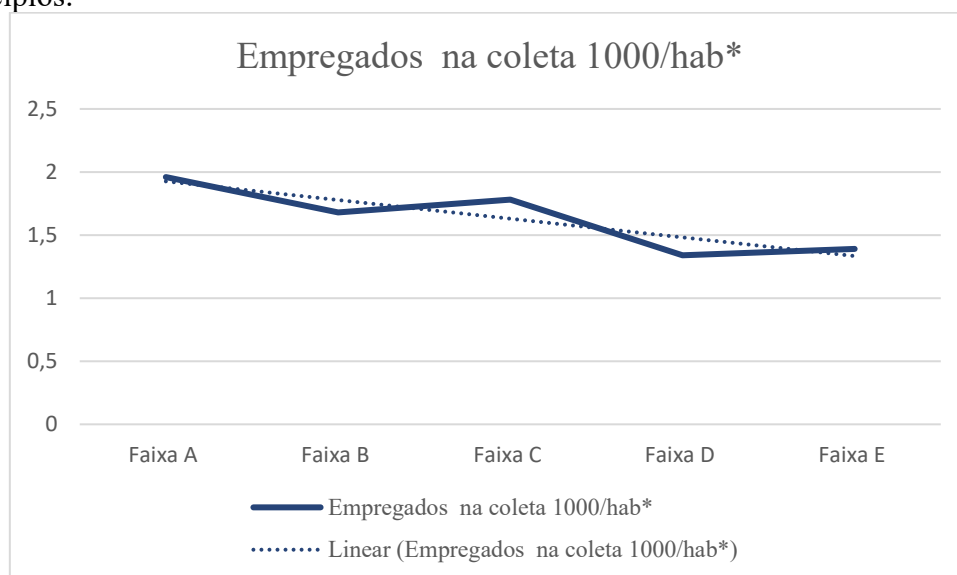
Os dados sugerem que municípios, aonde a prefeitura ou cooperativas realizam a coleta seletiva, são municípios com menor taxa de recuperação de material reciclado. Não há, contudo, uma linearidade absoluta com variação nas faixas, com maior valor observado para ambos os atores, na faixa C.

Assim como na dimensão ambiental, há uma relação positiva de maiores gastos (valores por tonelada coletada ou despesa *per capita*) e maior recuperação de material reciclado nos municípios analisados. A figura a seguir demonstra tal relação, considerando o custo por tonelada coletada.

**Figura 15.** Distriuição do volume de coleta seletiva na estratificação dos municípios.

Fonte: elaborado pelo autor.

O número de empregados na gestão de resíduos sólidos urbanos, possui relação similar à distribuição do custo de coleta. Municípios com maior número de empregados a cada mil habitantes, são municípios que apresentaram melhores índices de recuperação de material.

**Figura 16.** Distriuição do número de empregados na coleta na estratificação dos municípios.

Fonte: elaborado pelo autor.

Assim como na dimensão anterior, variáveis relacionadas ao desempenho da coleta seletiva (taxa de recuperação, recuperação per capita e volume total de coleta

seletiva por habitante) apresentaram relação linear e positiva, isto é, municípios das faixas mais altas, são municípios que apresentaram maiores valores nessas variáveis.

A dimensão econômica, que será analisada a seguir, terá seus três indicadores, Y3, Y4 e Y5 analisados em conjunto, uma vez que tratam de um mesmo pilar da sustentabilidade.

**Tabela 20.** Estratificação dos municípios na dimensão econômica (Y3).

Y3 - Econômico (custo da coleta seletiva / custo da coleta tradicional)		IDEB 2018	Coleta noturn a*	Taxa de coleta seletiva porta a porta*	Custo unitário da coleta com RSU	% de volume coletado por empresas contratada s*	Despesas per capitacom RSU	Custo da tonelada via coleta tradiciona l*	Caminhão compactado r por 10000/hab.	Taxa de recuperaçã o em relação ao volume total coletado	Recuperaçã o de recicláveis recuperada per capita	Volume total de coleta seletiva	
													Y3
<b>Geral (394 DMUs)</b>	<b>Mediana</b>	<b>0,16</b>	<b>6,30</b>	<b>51,00</b>	<b>99,30</b>	<b>199,33</b>	<b>87,68</b>	<b>110,31</b>	<b>409,55</b>	<b>0,74</b>	<b>4,80</b>	<b>14,43</b>	<b>22,37</b>
	Máximo	1,00	7,70		100,00	1321,72	100,00	734,17	1000,00	7,73	59,78	408,28	1005,92
	Mínimo	0,00	3,75		1,00	0,00	0,00	17,29	100,00	0,00	0,05	0,18	0,65
<b>Faixa A &gt; 20% (33 DMUs)</b>	<b>Mediana</b>	<b>0,80</b>	<b>6,30</b>	<b>9,00</b>	<b>100,00</b>	<b>322,49</b>	<b>82,61</b>	<b>141,61</b>	<b>360,00</b>	<b>0,79</b>	<b>28,64</b>	<b>91,69</b>	<b>212,01</b>
	Máximo	1,00	7,50		100,00	1027,01	100,00	480,43	1000,00	7,34	59,78	408,28	1005,92
	Mínimo	0,21	5,10		46,15	0,00	0,00	51,44	100,00	0,00	20,00	21,26	41,96
<b>Faixa B 9,20% &lt; x &lt; 19,99% (84 DMUs)</b>	<b>Mediana</b>	<b>0,30</b>	<b>6,20</b>	<b>22,00</b>	<b>100,00</b>	<b>276,65</b>	<b>72,80</b>	<b>119,20</b>	<b>325,65</b>	<b>1,33</b>	<b>12,68</b>	<b>36,77</b>	<b>58,46</b>
	Máximo	1,00	7,70		100,00	499,41	100,00	584,24	1000,00	5,05	19,91	100,88	491,64
	Mínimo	0,05	3,75		22,88	0,00	0,00	20,69	100,00	0,00	9,21	19,62	20,22
<b>Faixa C 5,7% &lt; x &lt; 9,19% (54 DMUs)</b>	<b>Mediana</b>	<b>0,22</b>	<b>6,30</b>	<b>14,00</b>	<b>98,96</b>	<b>249,57</b>	<b>73,59</b>	<b>112,81</b>	<b>383,30</b>	<b>1,09</b>	<b>7,24</b>	<b>20,68</b>	<b>28,12</b>
	Máximo	1,00	7,50		100,00	1321,72	100,00	734,17	1000,00	6,21	9,15	54,47	310,23
	Mínimo	0,04	4,50		6,28	0,00	0,00	30,21	100,00	0,00	5,70	6,29	9,66
<b>Faixa D 2,20% &lt; x &lt; 5,69% (101 DMUs)</b>	<b>Mediana</b>	<b>0,16</b>	<b>6,30</b>	<b>57,00</b>	<b>99,31</b>	<b>171,84</b>	<b>91,84</b>	<b>99,94</b>	<b>439,00</b>	<b>0,68</b>	<b>4,02</b>	<b>11,03</b>	<b>16,23</b>
	Máximo	0,81	7,70		100,00	674,17	100,00	454,80	1000,00	7,73	5,60	36,15	637,68
	Mínimo	0,01	4,50		1,00	0,00	0,00	17,29	100,00	0,00	2,21	3,55	3,84
<b>Faixa E &lt; 2,19%</b>	<b>Mediana</b>	<b>0,06</b>	<b>6,28</b>	<b>82,00</b>	<b>62,50</b>	<b>169,72</b>	<b>95,93</b>	<b>106,24</b>	<b>493,05</b>	<b>0,59</b>	<b>1,20</b>	<b>3,84</b>	<b>6,25</b>
	Máximo	0,77	7,50		100,00	499,68	100,00	461,16	1000,00	6,16	2,17	18,24	555,56
	Mínimo	0,00	4,15		1,00	0,00	0,00	30,35	100,00	0,00	0,05	0,18	0,65

Fonte: elaborado pelo autor

**Tabela 21.** Estratificação dos municípios na dimensão econômica - custo proporcional da coleta seletiva (Y4).

Y4 - Econômico (custo proporcional da coleta seletiva)		Remessa de RSU para outros municípios*		Taxa de terceirização da coleta seletiva	Custo da tonelada via coleta seletiva*	Taxa de terceirização da coleta seletiva*	Custo da tonelada via coleta tradicional
		Y4	%	%	R\$/tonelada	%	
<b>Geral (394 DMUs)</b>	<b>Mediana</b>	<b>1,56</b>	<b>63,00</b>	<b>99,47</b>	<b>199,33</b>	<b>87,68</b>	<b>409,55</b>
	Máximo	21,42		100,00	1321,72	100,00	1000,00
	Mínimo	0,34		0,00	0,00	0,00	100,00
<b>Faixa A &gt; 20% (33 DMUs)</b>	<b>Mediana</b>	<b>0,99</b>	<b>97,00</b>	<b>100,00</b>	<b>322,49</b>	<b>82,61</b>	<b>360,00</b>
	Máximo	3,16		100,00	1027,01	100,00	1000,00
	Mínimo	0,46		24,30	0,00	0,00	100,00
<b>Faixa B 9,20% &lt; x &lt; 19,99% (84 DMUs)*</b>	<b>Mediana</b>	<b>1,07</b>	<b>70,00</b>	<b>93,79</b>	<b>276,65</b>	<b>72,80</b>	<b>325,65</b>
	Máximo	6,30		100,00	499,41	100,00	1000,00
	Mínimo	0,38		0,00	0,00	0,00	100,00
<b>Faixa C 5,7% &lt; x &lt; 9,19% (54 DMUs)*</b>	<b>Mediana</b>	<b>1,54</b>	<b>63,00</b>	<b>97,47</b>	<b>249,57</b>	<b>73,59</b>	<b>383,30</b>
	Máximo	10,42		100,00	1321,72	100,00	1000,00
	Mínimo	0,36		0,00	0,00	0,00	100,00
<b>Faixa D 2,20% &lt; x &lt; 5,69% (101 DMUs)</b>	<b>Mediana</b>	<b>2,54</b>	<b>62,00</b>	<b>99,76</b>	<b>171,84</b>	<b>91,84</b>	<b>439,00</b>
	Máximo	10,64		100,00	674,17	100,00	1000,00
	Mínimo	0,34		2,44	0,00	0,00	100,00
<b>Faixa E &lt; 2,19%</b>	<b>Mediana</b>	<b>2,75</b>	<b>53,00</b>	<b>100,00</b>	<b>169,72</b>	<b>95,93</b>	<b>493,05</b>
	Máximo	21,42		100,00	499,68	100,00	1000,00
	Mínimo	0,38		0,00	0,00	0,00	100,00

Fonte: elaborado pelo autor.

**Tabela 22.** Estratificação dos municípios na dimensão econômica - custo proporcional da recuperação ambiental (Y5).

Y5 - Econômico (custo proporcional da recuperação)		Coleta noturna		Existência de catadores organizados	Despesas per capita com RSU	Custo da tonelada via coleta seletiva	Participação de empregados próprios	Taxa de recuperação em relação ao volume total coletado	Recuperação de recicláveis recuperada per capita	Volume total de coleta seletiva
		Y5	exist.	existência	RS/habitante		%	%	Kg/(hab. x ano)	Kg/(hab. x ano)
<b>Geral</b>	394 DMUS									
	<b>Mediana</b>	<b>0,25</b>	<b>51,00</b>	<b>59,00</b>	<b>11 0,31</b>	<b>409,55</b>	<b>16,67</b>	<b>4,80</b>	<b>14,43</b>	<b>22,37</b>
	Máximo	8,13			734,17	1000,00	100,00	59,78	408,28	1005,92
	Mínimo	0,00			17,29	100,00	0,00	0,05	0,18	0,65
<b>Faixa A &gt; 20%</b>	33 DMUS									
	<b>Mediana</b>	<b>1,44</b>	<b>9,00</b>	<b>18,00</b>	<b>141,61</b>	<b>360,00</b>	<b>32,50</b>	<b>28,64</b>	<b>91,69</b>	<b>212,01</b>
	Máximo	4,86			480,43	1000,00	100,00	59,78	408,28	1005,92
	Mínimo	0,21			51,44	100,00	0,00	20,00	21,26	41,96
<b>Faixa B 9,20 % &lt; x &lt; 19,99%</b>	84 DMUS									
	<b>Mediana</b>	<b>0,42</b>	<b>22,00</b>	<b>42,00</b>	<b>119,20</b>	<b>325,65</b>	<b>30,60</b>	<b>12,68</b>	<b>36,77</b>	<b>58,46</b>
	Máximo	7,53			584,24	1000,00	100,00	19,91	100,88	491,64
	Mínimo	0,05			20,69	100,00	0,00	9,21	19,62	20,22
<b>Faixa C 5,7% &lt; x &lt; 9,19%</b>	54 DMUS									
	<b>Mediana</b>	<b>0,28</b>	<b>14,00</b>	<b>38,00</b>	<b>112,81</b>	<b>383,30</b>	<b>41,73</b>	<b>7,24</b>	<b>20,68</b>	<b>28,12</b>
	Máximo	5,89			734,17	1000,00	100,00	9,15	54,47	310,23
	Mínimo	0,05			30,21	100,00	0,00	5,70	6,29	9,66
<b>Faixa D 2,20% &lt; x &lt; 5,69%</b>	101 DMUS									
	<b>Mediana</b>	<b>0,22</b>	<b>57,00</b>	<b>68,00</b>	<b>99,94</b>	<b>439,00</b>	<b>11,15</b>	<b>4,02</b>	<b>11,03</b>	<b>16,23</b>
	Máximo	7,56			454,80	1000,00	100,00	5,60	36,15	637,68
	Mínimo	0,01			17,29	100,00	0,00	2,21	3,55	3,84
<b>Faixa E &lt; 2,19%</b>	124 DMUS									
	<b>Mediana</b>	<b>0,08</b>	<b>82,00</b>	<b>73,00</b>	<b>106,24</b>	<b>493,05</b>	<b>5,85</b>	<b>1,20</b>	<b>3,84</b>	<b>6,25</b>
	Máximo	8,13			461,16	1000,00	100,00	2,17	18,24	555,56
	Mínimo	0,00			30,35	100,00	0,00	0,05	0,18	0,65

Fonte: Elaborado pelo autor.

A coleta noturna, teve impacto em dois dos três indicadores econômicos, Y3 e Y5. Tanto Y3 quanto Y5, apresentam municípios com menor índice de coleta noturna como municípios com melhores taxas de recuperação, isto é, a coleta noturna se apresenta como fator negativo para a recuperação de materiais recicláveis.

Indicadores que mostram a participação de empresas contratadas na coleta seletiva (taxa de terceirização e volume coletado por empresas contratadas), estão relacionadas, de maneira discreta, a piores índices de recuperação de materiais recicláveis, ou seja, nossos dados sugerem municípios com maiores índices de terceirização, não tem necessariamente menores custos, mas apresentam menores índices de recuperação de materiais recicláveis.

Por outro lado, para esse grupo de indicadores da dimensão econômica, as variáveis de custos de coleta tradicional e/ou seletiva, não apresentam relação homogênea, isto é, ainda que exista uma tendência a municípios com maiores custos apresentarem melhores índices de recuperação, há alguma incongruência quando os dados são analisados para o conjunto e não para cada indicador em separado. No indicador Y5, por exemplo, maiores custos de tonelada coletada via coleta seletiva, estão acompanhados por menores índices de recuperação de material, enquanto para Y4 essa relação é inversa.

A variável de remessa de resíduos para outros municípios, teve influência somente no indicador Y4, sendo que para esse indicado, municípios com maiores taxas de remessa, são municípios com melhores índices de recuperação de materiais.

As variáveis de recuperação de materiais, sejam em valores absolutos ou proporcionais, assim como nas demais dimensões, apresentaram relação positiva com as faixas de recuperação, como esperado.

Taxa de coleta seletiva porta a porta apresentou relação positiva com a recuperação de material, isto é, quanto mais o serviço é ofertado, maiores são os níveis de recuperação de material.

Por fim, algumas variáveis que influenciaram uma ou mais regressão nesse grupo de indicadores, como uso de caminhão compactador, não apresentaram relações homogêneas ou significativas para os dados analisados, para esse grupo de indicadores.

## 5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nessa sessão serão os resultados encontrados serão discutidos a partir da literatura existente sobre o tema.

A gestão de resíduos sólidos é um desafio complexo que atinge diferentes cidades ao redor do mundo (SARTORI, 2017). Para Fidelis (2020), o desafio é ainda mais complexo em países em desenvolvimento, uma vez que além da importância das dimensões econômica e ambiental, a dimensão social ganha influência pelo papel de geração de renda e inclusão produtiva de pessoas marginalizadas.

A geração de resíduos em países em desenvolvimento é também complexa pela variação nas quantidades e composição dos resíduos, uma vez que tais características possuem relação com a renda média dessas populações, associada a dificuldades de financiamento do sistema a partir do poder público (CHEN *et al.*, 2010, FU *et al.*, 2015).

Não existe consenso na literatura a respeito de um modelo ideal que atenda a diferentes características do municípios, inclusive com escolhas que podem ser contraditórias entre si, isto é, escolhas que privilegiem uma determinada dimensão, podem ser prejudiciais a uma ou mais dimensões distintas (MINOGLOU; KOMILIS 2013).

Os resultados corroboram tais fatos, uma vez que as dimensões foram impactadas por variáveis de diferentes características, econômicas, demográficas, ambientais entre outras, com impactos que não se restringem a um único indicador construído para esse estudo, além de em muitas oportunidades, os impactos se darem em direções opostas entre as dimensões.

O uso de caminhão compactador, por exemplo, apresentou uma relação negativa com a dimensão ambiental (Y1) em nosso estudo, ao mesmo tempo que apresenta relação positiva com a dimensão econômica, ao impactar positivamente o indicador Y3. Uma hipótese que merece ser melhor investigada, é que o ganho de escala promovido pela compactação dos resíduos, permitindo melhores indicadores de logística, interfere negativamente na triagem de material, uma vez que torna mais difícil a segregação nessa etapa, com maior contaminação do material reciclável.

Diferentes autores apontam para relação entre gestão de resíduos sólidos urbanos e impactos ambientais (MANDAL *et al.* 2019; ERKUT *et al.* 2008; GOUVEIA, 2012;



LLANQUILEO-MELGAREJO & MOLINOS-SENANTE, 2021, TAN *et al.* 2015.). Com isso, há certo consenso a respeito da necessidade de reduzir a destinação de resíduos para aterros, promovendo maior retorno desse material à cadeia produtiva (CIFRIAN *et al.*, 2013, ZACCARIELLO *et al.*, 2015, CHANG *et al.*, 2016).

Satori (2018), argumenta, em estudo relacionado a Bandung City, que os fatores mais importantes a serem considerados, quando se pensa nos impactos ambientais decorrentes da má gestão de RSU, estão fatores relacionados a geração de resíduos, uma vez que terão influência em todo o restante da operação, como custos, infraestrutura, entre outros.

A geração de resíduos sólidos está relacionada a diferentes aspectos, tais como renda, consumo e tamanho populacional (CABRAL, 2007), além de outros fatores socioeconômicos (BUENO *et al.*, 2015, KAWAI e TASAKI, 2016). De acordo com nossos resultados, fatores como IDEB e tamanho e urbanização dos municípios, impactam todas as dimensões estudadas, de maneira positiva, isto é, melhores índices de recuperação, com maiores custos. Contudo, ao analisar a estratificação dos municípios, observa-se clara tendência de municípios menores e com menor taxa de urbanização, apresentarem melhores resultados.

Nossos dados mostram a dimensão ambiental sendo impactada positivamente pela recuperação per capita de material, mas não há sinergia com o impacto dessa variável nas dimensões social e econômica, uma vez que o vetor é negativo. Zaccariello *et al.* (2015), argumenta que os custos maiores para se obter maiores volumes de recuperação, como mostrado em nossos dados, podem trazer benefícios econômicos, desde que existam ações que busquem otimizar a recuperação a partir da geração e a inserção do recuperado na cadeia produtiva. Nossos dados sugerem algo parecido, uma vez que a taxa de recuperação, isto é, a proporção de material recuperado em relação ao total coletado seletivamente, impacta positivamente tanto a dimensão social (Y2), quanto dois indicadores da dimensão econômica, Y3, e em especial Y5, que busca relativizar o custo da recuperação, ao analisar a dimensão ambiental de maneira integrada à dimensão econômica.

Há na literatura diferentes estudos que objetivam analisar a dimensão econômica dos sistemas de gestão de resíduos nos municípios. Grande parte desses estudos buscam analisar hipóteses que garantam a redução dos custos envolvidos, seja com abertura de

novas áreas de disposição final e logística (ASEFI e LIM, 2017), seja com modelos de pagamento (ALZAMORA & BARROS, 2020).

Satori (2006), argumenta que a dimensão econômica, possui complexidade elevada, uma vez que resíduos podem ser fonte de custos, mas também de receitas, em especial em regiões de maior vulnerabilidade social.

Neste trabalho, a despesa per capita com resíduos sólidos, diz respeito aos gastos dos municípios com o manejo de resíduos sólidos, sem que se especifique exatamente onde estão alocados os custos. É uma variável que impactou todas as dimensões estudadas, de maneira heterogênea, em linha com a complexidade descrita na literatura.

As dificuldades enfrentadas pelo poder público para a sua atuação na prestação de serviços de gestão de RSU, terminam por fragilizar a cadeia de reciclagem. Existe um consenso cada vez maior sobre a necessidade da incorporação da cobrança da tarifa do lixo e responsabilização dos grandes geradores por meio de legislações (FERNANDEZ-JIMENEZ *et al.*, 2017; AZEVEDO *et al.*, 2019).

Somando-se a isso, nossos dados mostram que quanto maior o custo unitário da coleta, menor o custo proporcional da coleta seletiva; além de quanto maior o custo da coleta em relação ao custo total com o manejo de resíduos sólidos, menor fica o custo da coleta seletiva proporcionalmente aos custos totais do município com resíduos, com impacto positivo na recuperação de materiais recicláveis.

Em linha com nossos achados sobre a complexidade da análise do impacto dos custos nas diferentes dimensões, a literatura aponta a necessidade de qualificação das despesas, para que os resultados globais da gestão de RSU sejam atendidos, seja quando considera-se menores custos de abertura de novas áreas (ERKUT *et al.* 2008), menores custos de operação (SHARHOLY *et al.* 2008, ARENA e DI GREGORIO, 2014), ou mesmo geração de receitas através (LLANQUILEO-MELGAREJO & MOLINOS-SENANTE, 2021, TAN *et al.* 2015).

Os resultados deste trabalho sugerem a existência de custo inerente ao alcance: nos municípios analisados, nos diferentes indicadores na dimensão econômica, parece bastante clara a relação entre abrangência da coleta e da coleta seletiva e aumento de custos. Os dados não permitem inferir a existência de ganho de escala nas operações envolvidas na gestão dos resíduos sólidos urbanos.

A população urbana mundial cresce de maneira mais rápida que outros recortes, com uma taxa de aproximadamente 1,5% a.a., sendo que em áreas urbanas que existem maior geração de recicláveis, dada as características do consumo (OUDA *et al.*, 2016). Nossos dados demonstram existir uma importante relação entre tamanho da população, bem como sua distribuição (urbana ou rural) e desempenho ambiental dos municípios, entendido por esse trabalho como a capacidade de recuperação de materiais recicláveis, diminuído assim a pressão sobre áreas para a destinação final dos materiais. Esse achado é corroborado por Mandal *et al* (2019), que aponta para a necessidade de análises sobre um tamanho populacional atendido, que permita a otimização do sistema implantado, garantindo por um lado qualidade do serviço, por outro sustentabilidade econômica. Esse mesmo autor trata da importância de se considerar as realidades locais.

A oferta universal dos serviços públicos é um dos parâmetros defendidos, tanto pelo Banco Mundial, quanto pelas políticas de saneamento básico no Brasil, buscando-se primeiro garantir assistência básica (coleta tradicional) à população para posteriormente qualificar o serviço (coleta seletiva) (RODRIGUES *et al.* 2018. HOSSEINALIZADEH, *et al* 2021).

Nossas variáveis que se relacionam mais diretamente com o alcance da política pública, como taxa de cobertura de coleta e coleta seletiva porta a porta, volumes coletados entre outros, não garantem, necessariamente melhores resultados de recuperação de material, uma vez que maiores volumes impactaram negativamente a dimensão ambiental em nossas regressões. Por outro lado, na estratificação dos municípios, municípios com maiores volumes de coleta seletiva total (kg/hab/ano), são aqueles que se encontram nas melhores faixas de recuperação.

Há intensa discussão na literatura a respeito de modelos de governança da coleta seletiva, em especial quando se discute o ator responsável pela execução da coleta de materiais reciclados nas residências (LLANQUILEO-MELGAREJO & MOLINOS-SENANTE, 2021)

Como a literatura aponta, a abrangência por si só não garante melhores resultados. Nossos dados sugerem que municípios, aonde a prefeitura ou cooperativas realizam a coleta seletiva, são municípios com menor taxa de recuperação de material reciclado. Isso pode ser explicado não necessariamente pela qualidade da coleta realizada por esses agentes, mas pela menor capacidade de volume coletado por tais agentes. Por

outro lado, nossos dados sugerem uma pior qualidade de do material coletado quando realizado por empresas privadas.

Cooperativas são responsáveis por cerca de 90% dos plásticos reciclados no Brasil (MNCR, 2020), contudo não há grande literatura a respeito do desempenho desses atores na etapa de coleta seletiva. Fidelis (2018), argumenta que há grande heterogeneidade dentro do universo de cooperativas, salientando a importância da manutenção de investimentos públicos nesses atores, permitindo melhores controles e possibilidade de avaliação dos impactos de sua atuação.

Há necessidade de maior investigação em relação aos impactos da escolha do agente executor da coleta. Munhoz (2016), argumenta que menos importante que a escolha do executor da coleta, o que realmente impacta o desempenho dessa etapa é o modelo escolhido para a governança e controle, em especial no que diz respeito ao modelo de remuneração do sistema.

Nos municípios existentes em nossa base de dados, aqueles onde a coleta é realizada pelos agentes públicos ou por cooperativas, os resultados de qualidade são melhores, enquanto a abrangência do serviço é menor, com maior custo. Contudo nos dados estratificados por faixas de recuperação não é possível enxergar uma clara resposta melhor na qualidade, uma vez que municípios da faixa A, são municípios com menor participação de agentes como prefeitura e catadores.

A relação entre custo e abrangência está bastante clara em nossa amostra, quanto maior o valor alocado com resíduos sólidos urbanos maior abrangência da política pública de coleta. Diferentes estudos analisaram essa relação com achados parecidos ao nosso (LLANQUILEO-MELGAREJO & MOLINOS-SENANTE, 2021). Outros estudos apontam para o fato que estudar sobre abrangência somente, pode ser insuficiente para uma resposta eficiente (MANDAL, 2019)

Não há em nossos achados variáveis que pareçam explicar as razões de maiores índices de abrangência nos municípios estudados. Há sim, variáveis que demonstram o impacto do aumento dessa dimensão. A abrangência da política de coleta seletiva tem relação com a taxa de cobertura da coleta tradicional, mas não é possível sustentar a hipótese que maiores abrangência garantam qualidade.

Entre os principais elementos de custo, é possível destacar os elevados impactos do transporte de grandes quantidades de resíduos entre os pontos de geração, seus destinos intermediários de tratamento e destinação final (TAN *et al.* 2015), sendo uma das hipóteses possíveis que permitam entender a relação entre custo e abrangência, apontada em nosso estudo.

A taxa de cobertura da coleta tradicional não apresentou relação com as melhores recuperações de material reciclável, pelo contrário municípios com menores taxas de cobertura são municípios que estão nas melhores faixas de recuperação de material.

Esse achado não está em linha com o que aparece nas melhores recomendações a respeito de saneamento básico e, também, nas recomendações do banco mundial a respeito da gestão de resíduos sólidos municipais. Tanto na literatura quanto o Banco Mundial (2018) sugerem que, primeiro se atenda o básico, ou seja, a coleta tradicional para posteriormente haver melhorias incrementais no sistema como, por exemplo, a adição de coleta seletiva.

Nossos dados demonstram que não, necessariamente, isso pode ser uma regra a ser aplicada nos municípios brasileiros, uma vez que municípios com menor taxa de cobertura de coleta tradicional foram os municípios que apresentaram melhores taxas de recuperação, quando analisamos os dados por municípios estratificados .

## 6 CONCLUSÕES

Objetivo desse trabalho era identificar fatores que influenciam o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, considerando as dimensões ambiental, social e econômica. Para isso foram estabelecidos objetivos específicos de criação de um modelo multidimensional, análise das variáveis relevantes em cada modelo e estratificação dos municípios em linha com a PLANARES 2020, cruzando o desempenho em cada faixa com os fatores estabelecidos anteriormente.

Nesse contexto é possível entender que os objetivos foram alcançados, uma vez que o modelo proposto abordou as diferentes dimensões, em linha com o existente na literatura, além de permitir identificar pontos de sinergia e divergência entre fatores influenciando diferentes dimensões.

A partir desses achados, é possível afirmar que o estudo corrobora o existente na literatura, ao apontar a complexidade existente na gestão de RSU nos municípios. Além disso, os fatores identificados nas regressões estudadas e seus impactos em cada uma delas, ilustrando com bastante clareza e robustez, os diferentes impactos, muitas vezes controversos entre as dimensões. É possível identificar *tradeoffs*, em especial quando olhamos para aumentos de volumes coletados e piora na qualidade da recuperação de material. Se coloca aos municípios, a necessidade de estudos complexos para equilibrar tais efeitos, e a academia a necessidade de aprofundar estudos a respeito desse tema.

Apesar da complexidade existente nesse objeto de estudo, algumas linhas de recomendação podem ser enxergadas de maneira clara a partir de nossos resultados. A estratégia de coleta noturna não apresenta resultado positivo com nenhuma das dimensões estudadas, ainda que não seja possível afirmar que coleta diurna seja positiva. Por outro lado, buscar melhores taxas de recuperação de material, seja em valores absolutos, seja proporcionalmente, qualificam os resultados do sistema de maneira global.

A dimensão ambiental se mostra com mais capacidade de ter seus resultados modificados sem que haja impacto nas demais dimensões, permitindo que os resultados municipais sejam melhorados com uma abordagem menos sistêmica, se por exemplo, o trabalho de apoio à catadores e cooperativas.

Considerando os nossos dados, bem como as metas estabelecidas no plano nacional de resíduos sólidos, sugerimos que os municípios analisados para

aprofundamento de análise sejam os municípios que se encontram entre as faixas B e D, estabelecidas por este estudo.

Isto se deve ao fato desses municípios apresentarem desempenho significativamente superior à média nacional na recuperação de material, mas com indicadores de custo e benefício que possam ser mais amplamente apropriados por outros municípios do que os municípios que se encontram na faixa A, com o melhor desempenho, mas com o desempenho e não seja facilmente replicado considerando a realidade da maior parte dos municípios do Brasil.

Há também necessidade de aprofundamento nas investigações a respeito do impacto dos tamanhos populacionais, na gestão de RSU. Assim como a literatura, nossos dados apontam para uma relação importante entre menores populações e melhores resultados na recuperação de materiais. Municípios populosos poderiam, por exemplo, adotar estratégias de segmentação de seus territórios, com descentralização do sistema, a fim de alcançar melhores resultados.

Por fim é preciso destacar algumas limitações impostas ao estudo. Ainda que exista muitos municípios respondentes ao SNIS, a maneira de coleta dos dados, com autodeclaração, resulta em falhas na amostragem, de modos que da amostra inicial existente na nossa base de dados, apenas 11% dos municípios tiveram seus dados analisados, após cortes em função do não preenchimento de algumas questões.

Além disso é importante destacar a constante modificação do instrumento do SNIS ao longo dos anos, dificultando a construção de series históricas para alguns elementos do instrumento, como os custos com coleta seletiva, que não permitiu que trabalhássemos com dados mais recentes.

Como sugestão de novas pesquisas, sugerimos aprofundamento das investigações a respeito desse tema, bem como estudos aprofundados em diferentes municípios buscando identificar estratégias de sucesso que possam se configurar em boas práticas a serem adotadas a nível regional ou mesmo nacional, considerando as diferentes realidades locais.

## REFERÊNCIAS

- \_\_\_\_\_. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**, 2014. Brasil, 2014.
- \_\_\_\_\_. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**, 2015. Brasil, 2015.
- \_\_\_\_\_. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**, 2016. Brasil, 2016.
- \_\_\_\_\_. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**, 2017. Brasil, 2017.
- \_\_\_\_\_. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**, 2018. Brasil, 2018.
- \_\_\_\_\_. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**, 2019. Brasil, 2019.
- \_\_\_\_\_. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**, 2020. Brasil, 2020.
- \_\_\_\_\_. Pesquisa sobre pagamento por serviços ambientais urbanos para gestão de resíduos sólidos. Brasília: Ipea, 2010. Disponível em: <[http:// goo.gl/tTVr](http://goo.gl/tTVr)>.
- ABRELPE – Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Urbana e de Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**, 2013. Brasil, 2013.
- ALZAMORA, Bruno Ribas; BARROS, Raphael Tobias de V. Review of municipal waste management charging methods in different countries. **Waste Management**, v. 115, p. 47-55, 2020.
- ANGULO-MEZA, L.; MELLO, J. C. C. B. S.; GOMES, E. G.; FERNANDES, A. J. S. Seleção de variáveis em DEA aplicada a uma análise do mercado de energia elétrica. **Investigação Operacional**, Lisboa, v.27, n.1, p.21-36, 2007.
- ARENA, Umberto; DI GREGORIO, Fabrizio. A waste management planning based on substance flow analysis. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 85, p. 54-66, 2014.
- ASEFI, Hossein; LIM, Samsung. A novel multi-dimensional modeling approach to integrated municipal solid waste management. **Journal of cleaner production**, v. 166, p. 1131-1143, 2017.



- AYVAZ-CAVDAROGLU, Nur; COBAN, Asli; FIRTINA-ERTIS, Irem. Municipal solid waste management via mathematical modeling: A case study in Istanbul, Turkey. **Journal of environmental management**, v. 244, p. 362-369, 2019.
- AZEVEDO, Bruno Duarte; SCAVARDA, Luiz Felipe; CAIADO, Rodrigo Goyannes Gusmão. Urban solid waste management in developing countries from the sustainable supply chain management perspective: A case study of Brazil's largest slum. **Journal of cleaner production**, v. 233, p. 1377-1386, 2019.
- BABAYEMI, J. O.; DAUDA, K. T. Evaluation of solid waste generation, categories and disposal options in developing countries: a case study of Nigeria. **Journal of Applied Sciences and Environmental Management**, v. 13, n. 3, 2009.
- BENNICH, T. *et al.* The bio-based economy, 2030 Agenda, and strong sustainability – A regional-scale assessment of sustainability goal interactions. **Journal of Cleaner Production**, v. 283, p. 125174, fev. 2021.
- BESSEN, Gina Rizpah. Coleta seletiva com inclusão de catadores: construção participativa de indicadores e índices de sustentabilidade. **São Paulo: Faculdade de Saúde Pública da USP**, 2011.
- BHAWAL MUKHERJI, S. *et al.* Resident Knowledge and Willingness to Engage in **Waste Management** in Delhi, India. *Sustainability*, v. 8, n. 10, p. 1065, 21 out. 2016.
- BRASIL. Lei Federal nº11.445 de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**. Brasília, 2007.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos - Planares [recurso eletrônico]** / coordenação de André Luiz Felisberto França... [et. al.]. – Brasília, DF: MMA, 2022. 209 p. : il. ; color.
- BUENO G, Latasa I, Lozano PJ (2015) Comparative LCA of two approaches with different emphasis on energy or material recovery for a municipal solid waste management system in Gipuzkoa. *Renew Sustain Energy Rev* 51:449–459. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.021>
- CABRAL, A.E.B. Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da

- composição do RCD. 280p. **Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental)** — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007
- CALVO, N.; VARELA-CANDAMIO, L.; NOVO-CORTI, I. A Dynamic Model for Construction and Demolition (C&D) Waste Management in Spain: Driving Policies Based on Economic Incentives and Tax Penalties. *Sustainability*, v. 6, n. 1, p. 416–435, 20 jan. 2014.
- CAMPOS, H. K. T. Renda e evolução da geração *per capita* de resíduos sólidos no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.1, p. 171-180, 2012.
- CASTILHOS JUNIOR, Armando Borges de *et al.* Catadores de materiais recicláveis: análise das condições de trabalho e infraestrutura operacional no Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil. **Ciência & saúde coletiva**, v. 18, n. 11, p. 3115-3124, 2013.
- CHERFEM, Carolina Orquiza. A coleta seletiva e as contradições para a inclusão de catadoras e catadores de materiais recicláveis: construção de indicadores sociais. **Mercado de trabalho**, v. 59, p. 89-98, 2015.
- CHONG YT, Teo KM, Tang LC (2016) A lifecycle-based sustainability indicator framework for waste-to-energy systems and a proposed metric of sustainability. **Renew Sustainable Energy Rev** 56:797–809. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.036>
- CIFRIAN E, Andres A, Viguri JR (2013) Estimating monitoring indicators and the carbon footprint of municipal solid waste management in the region of Cantabria, Northern Spain. **Waste Biomass Valorization** 4:271–285. <https://doi.org/10.1007/s1264-9-012-9150-6>
- CORRAR, Luiz J.; DIAS FILHO, José Maria; PAULO, Edilson. **Análise multivariada para os cursos de administração, ciências contábeis e economia**. Editora Atlas, 2014.
- Decreto Federal n. 5.940, de 25 de outubro de 2006 (2006). Brasília: Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]. Brasília, 2006.
- DIAS, D. M. *et al.* Modelo para estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 325–332, set. 2012.
- ERKUT, Erhan *et al.* A multicriteria facility location model for municipal solid waste management in North Greece. **European journal of operational research**, v. 187, n. 3, p. 1402-1421, 2008.

- FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, Ana *et al.* Sustainable alkali activated materials: Precursor and activator derived from industrial wastes. **Journal of Cleaner Production**, v. 162, p. 1200-1209, 2017.
- FERRONATO, N.; TORRETTA, V. Waste Mismanagement in Developing Countries: A Review of Global Issues. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 6, p. 1060, 24 mar. 2019.
- FIDELIS, Reginaldo *et al.* Socio-productive inclusion of scavengers in municipal solid waste management in Brazil: Practices, paradigms and future prospects. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 154, p. 104594, 2020.
- GIEZEN, Thijs J. *et al.* Safety-related regulatory actions for biologicals approved in the United States and the European Union. **Jama**, v. 300, n. 16, p. 1887-1896, 2008.
- GOULART COELHO, L. M.; LANGE, L. C.; COELHO, H. M. Multi-criteria decision making to support waste management: A critical review of current practices and methods. **Waste Management & Research**, v. 35, n. 1, p. 3–28, jan. 2017.
- GOUVEIA, Nelson. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência & saúde coletiva**, v. 17, p. 1503-1510, 2012.
- GUERRERO, Lilliana Abarca; MAAS, Ger; HOGGLAND, William. Solid waste management challenges for cities in developing countries. **Waste management**, v. 33, n. 1, p. 220-232, 2013.
- GUTBERLET, J. Cooperative urban mining in Brazil: Collective practices in selective household waste collection and recycling. **Waste Management**, v. 45, p. 22–31, nov. 2015.
- GUTBERLET, Jutta; BRAMRYD, Torleif; JOHANSSON, Michael. Expansion of the Waste-based commodity frontier: Insights from Sweden and Brazil. **Sustainability**, v. 12, n. 7, p. 2628, 2020.
- GUTIERREZ, R. F.; ZANIN, M. Empreendimentos Econômicos de Catadores de Resíduos e Legislações Vigentes: Avanços e Limites<sup>1,2</sup>. p. 9, 2011.
- HAASTRUP, P. *et al.* A decision support system for urban waste management. **European Journal of Operational Research**, 330-341, 1998.
- HAIR, Joseph F. *et al.* **Análise multivariada de dados**. Bookman editora, 2009.
- HENRY, Rotich K.; YONGSHENG, Zhao; JUN, Dong. Municipal solid waste management challenges in developing countries–Kenyan case study. **Waste management**, v. 26, n. 1, p. 92-100, 2006.

- HERVA, Marta; NETO, Belmira; ROCA, Enrique. Environmental assessment of the integrated municipal solid waste management system in Porto (Portugal). **Journal of cleaner production**, v. 70, p. 183-193, 2014.
- HOSSEINALIZADEH, Ramin; IZADBAKHSI, Hamidreza; SHAKOURI, Hamed. A planning model for using municipal solid waste management technologies-considering Energy, Economic, and Environmental Impacts in Tehran-Iran. **Sustainable Cities and Society**, v. 65, p. 102566, 2021.
- HUANG, Qiao *et al.* Identifying the socioeconomic drivers of solid waste recycling in China for the period 2005–2017. **Science of the total environment**, v. 725, p. 138137, 2020.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2012a.
- IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Situação Social das Catadoras e dos Catadores de Material Reciclável e Reutilizável, Brasília, 2013.
- KAWAI K, Tasaki T (2016) Revisiting estimates of municipal solid waste generation per capita and their reliability. *J Mater Cycles Waste Manag* 18:1–13. <https://doi.org/10.1007/s10163-015-0355-1>
- KUWAHARA, M. Y. Resíduos Sólidos, Desenvolvimento Sustentável e Qualidade de Vida. **Resíduos Sólidos no Brasil: oportunidades e desafios da lei federal nº 12.305 (lei de resíduos sólidos)**, vários autores, RUDINEI *et al.* (org.), Ed. Manole, 2014.
- BRASIL. **LEI FEDERAL Nº 12.305 DE 2 DE AGOSTO DE 2010**. Política Nacional dos Resíduos Sólidos, 2010.
- Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil].
- LLANQUILEO-MELGAREJO, Paula; MOLINOS-SENANTE, María. Evaluation of economies of scale in eco-efficiency of municipal waste management: an empirical approach for Chile. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-12, 2021.
- MADDEN, Ben *et al.* Using the waste Kuznet's curve to explore regional variation in the decoupling of waste generation and socioeconomic indicators. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 149, p. 674-686, 2019.

- MANDAL, Kasturi *et al.* Review on evolution of municipal solid waste management in India: practices, challenges and policy implications. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 21, n. 6, p. 1263-1279, 2019.
- MARIANI, Celso Antonio. Método PDCA e ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos industriais: um estudo de caso. RAI – Revista de Administração e Inovação. São Paulo, Vol.2. num.2. p. 110 – 120, 2005.
- MARSHALL, R. E.; FARAHBAKHS, K. Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries. **Waste Management**, v. 33, n. 4, p. 988–1003, abr. 2013.
- MELLO, J. C. C. B. S.; ANGULO-MEZA, L.; GOMES, E. G.; SERAPIÃO, B. P.; LINS, M. P. E. Análise envoltória de dados no estudo da eficiência e dos benchmarks para companhias aéreas brasileiras. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 2, p. 325-345, 2003. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-74382003000200005>
- MENDES, P. *et al.* Evaluating municipal solid waste management performance in regions with strong seasonal variability. **Ecological Indicators**, v. 30, p. 170–177, jul. 2013.
- MIEZAH, K. *et al.* Municipal solid waste characterization and quantification as a measure towards effective waste management in Ghana. **Waste Management**, v. 46, p. 15–27, dez. 2015.
- MINOGLU, Minas; KOMILIS, Dimitrios. Optimizing the treatment and disposal of municipal solid wastes using mathematical programming—A case study in a Greek region. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 80, p. 46-57, 2013.
- MOHAMMADI, Maryam; JÄMSÄ-JOUNELA, Sirkka-Liisa; HARJUNKOSKI, Iiro. Optimal planning of municipal solid waste management systems in an integrated supply chain network. **Computers & Chemical Engineering**, v. 123, p. 155-169, 2019.
- MORIGUCHI, Yuichi. Material flow indicators to measure progress toward a sound material-cycle society. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 9, n. 2, p. 112-120, 2007.
- MUNHOZ, C. P., Contrato de Parcerias Público-Privadas na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos – estudos de caso. **Revista de Direito Sanitário**, São Paulo v.16 n.3, p. 57-74, nov. 2015/fev. 2016.

- NEUMAN, W. L. Social research methods: qualitative and quantitative approaches. Pearson: Boston, 2006. 640 p.
- OLIVEIRA, Larissa Jhennifer Conceição *et al.* Gestão de resíduos: uma análise sobre os impactos da geração de rejeitos na construção civil. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 24447-24462, 2020.
- PEREIRA, Claudia Diavan; FRANCO, Davide; CASTILHOS JR, Armando Borges. Implantação de Estação de Transferência de Resíduos Sólidos Urbanos utilizando Tecnologia SIG. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, n. 27, p. 71-84, 2013.
- PLATA-DÍAZ, Ana María *et al.* Alternative management structures for municipal waste collection services: The influence of economic and political factors. **Waste Management**, v. 34, n. 11, p. 1967-1976, 2014.
- PNAD. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio 2012. Rio de Janeiro: IBGE, 2012b
- RADA, E. C.; RAGAZZI, M.; FEDRIZZI, P. Web-GIS oriented systems viability for municipal solid waste selective collection optimization in developed and transient economies. **Waste Management**, v. 33, n. 4, p. 785–792, abr. 2013.
- REBEHY, P. C. P. W. *et al.* Innovative social business of selective waste collection in Brazil: Cleaner production and poverty reduction. **Journal of Cleaner Production**, v. 154, p. 462–473, jun. 2017.
- REBEHY, P. C. P. W. *et al.* Reverse logistics systems in Brazil: Comparative study and interest of multistakeholders. **Journal of Environmental Management**, v. 250, p. 109223, nov. 2019.
- RODRIGUES, A. P. *et al.* Developing criteria for performance assessment in municipal solid waste management. **Journal of Cleaner Production**, v. 186, p. 748-757, 2018.
- SAIANI, C. C. S., TONETO, R. **Manejo dos Resíduos Sólidos no Brasil: desigualdades e efeitos sobre a saúde. Resíduos Sólidos no Brasil: oportunidades e desafios da lei federal nº 12.305 (lei de resíduos sólidos)**, vários autores, RUDINEI *et al* (org.), Ed. Manole, 2014.
- SALE, J. E.; LOHFELD, L. H.; BRAZIL, K. Revisiting the quantitative-qualitative debate: Implications for mixed-methods research. **Quality & Quantity**, Dordrech, v. 36, n. 1, p. 43-53, 2002.
- SALGADO JUNIOR, A. P.; CARLUCCI, F. V.; NOVI, J. C. Aplicação da análise envoltória de dados (AED) na avaliação da eficiência operacional relativa entre

- usinas de cana-de-açúcar no território brasileiro. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 5, p. 826-843, 2014.
- SANTIAGO, Leila Santos; DIAS, Sandra Maria Furiam. Matrix of sustainability indicators for the urban solid waste management. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 203-212, 2012.
- SAPHORES, Jean-Daniel M.; NIXON, Hilary. How effective are current household recycling policies? Results from a national survey of US households. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 92, p. 1-10, 2014.
- SATORI, Mohamad *et al.* Review of the influencing factors of integrated waste management. **Geomate Journal**, v. 15, n. 48, p. 34-40, 2018.
- SELEME, R.; STADLER, H. Controle da qualidade: as ferramentas essenciais. 2. ed. Curitiba: IBPEX, 2012
- SHARHOLY, Mufeed *et al.* Municipal solid waste management in Indian cities—A review. **Waste management**, v. 28, n. 2, p. 459-467, 2008.
- SINGH, K. Quantitative social research methods. **SAGE Publications**: Thousand Oaks, 2007. 432 p.
- SOLTANI, Atousa *et al.* Multiple stakeholders in multi-criteria decision-making in the context of municipal solid waste management: a review. **Waste Management**, v. 35, p. 318-328, 2015.
- ŠOMPLÁK, R. *et al.* Contribution to Global Warming Potential by waste producers: Identification by reverse logistic modelling. **Journal of Cleaner Production**, v. 208, p. 1294–1303, jan. 2019.
- TAN, Sie Ting *et al.* Energy, economic and environmental (3E) analysis of waste-to-energy (WTE) strategies for municipal solid waste (MSW) management in Malaysia. **Energy Conversion and Management**, v. 102, p. 111-120, 2015.
- TAN, Sie Ting *et al.* Optimal process network for municipal solid waste management in Iskandar Malaysia. **Journal of Cleaner Production**, v. 71, p. 48-58, 2014.
- THANASSOULIS, E. Assessing the efficiency of schools with pupils of diferente ability using data envelopment analysis. **Journal of the Operational Research Society**, London, v. 47, n. 1, p. 84-97, 1996.
- TONETO JR, R.; SAIANI, C. C. S.; DOURADO, J. (EDS.). **Resíduos Sólidos no Brasil - Oportunidades e Desafios da Lei Federal nº 12305 (Lei de Resíduos)**. Barueri, SP: Manole, 2014.

- UN HABITAT, Solid Waste Management in the world's cities – water and sanitation in the world's cities 2010. London/Washington, 2010.
- WANG, Chen *et al.* A multidisciplinary perspective on the evolution of municipal waste management through text-mining: A mini-review. **Waste Management & Research**, v. 39, n. 1, p. 32-42, 2021.
- WILSON, David C.; VELIS, Costas A. Waste management–still a global challenge in the 21st century: An evidence-based call for action. 2015.
- WORLD BANK GROUP. **Municipal solid waste management: a roadmap for reform for policy makers**. World Bank, 2018.
- YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Bookman: Porto Alegre, 2010. 205 p
- ZACCARIELLO L, Cremiato R, Mastellone ML (2015) Evaluation of municipal solid waste management performance by material flow analysis: theoretical approach and case study. **Waste Manag Res** 33:871–885. <https://doi.org/10.1177/0734242x15595284>
- ZANIN, M.; GUTIERREZ, R. F. (Org.). (2011). Cooperativas de Catadores: reflexões sobre práticas (1a ed., vol. 1, pp. 169- 210). São Carlos: Clara Luz.
- ZHANG, Y. M.; HUANG, G. H.; HE, L. An inexact reverse logistics model for municipal solid waste management systems. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 3, p. 522–530, mar. 2011.



## ANEXOS

## Anexo A: variáveis utilizadas nas regressões do estudo

Variável	Definição	Unidade	Tipo de variável	Código SNIS
Código do município	Código municipal IBGE	n/a	Nominal	n/a
Município	Nome do município	n/a	Nominal	n/a
UF	Unidade Federativa do município	n/a	Nominal	n/a
1 prefeitura	Agente responsável pela coleta seletiva: prefeitura	ator		
2 empresa	Agente responsável pela coleta seletiva: cooperativa	ator		
2_3	2 ou 3 vezes por semana	%	Contínua	Co135
3 cooperativa	Agente responsável pela coleta seletiva: empresas	ator		
4 Misto	Agente responsável pela coleta seletiva: Misto	ator	Nominal	n/a
BALANÇA	Uso de Balança	existência	Nominal	Co021
CAT_DISP	Existência de catadores dispersos	existência	Nominal	Ca004
CAT_ORG	Existência de organização formal	existência	Nominal	Ca005
COMPAC_10000	Caminhão compactador	uni/10000hab	Contínua	n/a
CONTAINER	Coleta com elevação de contêiner	existência	Nominal	Co131
CS_PP_PREF	Porta a porta em dias específicos	ator	Nominal	Cs027
CS_TOT	Total de resíduos coletado seletivamente	tonelada	Contínua	Cs026
CUSTO_CS_TON	Custo da tonelada coletada seletivamente	n/a	Contínua	R\$/ton.
CUSTO_TON_COL	Custo unitário da coleta	R\$/tonelada	Contínua	IN023
DESP_CONTRADAS	Incidência de despesas com empresas contratadas	%	Contínua	IN004
DESP_PERCAPITA	Despesas <i>per capita</i> com RSU	R\$/habitante	Contínua	IN006
DESP_RSU_PREF	Incidência de despesas com RSU na prefeitura	%	Contínua	IN003
DIARIA	Diária	%	Contínua	Co134
IDEBINICIAL	IDEB anos iniciais em 2018	n/a	Contínua	n/a
IDHM 2010	IDMH municipal em 2010	n/a	Contínua	n/a
INC_CUS_COL_MAN	Incidência do custo da coleta no custo total do manejo	%	Contínua	IN024
INC_TRAB_COL_MAN	Incidência de empregada coleta no total de empregados no manejo	%	Contínua	IN025
KG_CS_PERCAPITA	Massa <i>per capita</i> recolhida via coleta seletiva	Kg/ (hab. x ano)	Contínua	IN054
KG_REC_PERCAPITA	Massa recuperada per capita	Kg/ (hab. x ano)	Contínua	IN032
NOTURNA	Coleta noturna	existência	Nominal	Co008
PERC_POP_URB	Percentual População urbana	%	Contínua	n/a
PIB_PCP_CORRENTE	PIB municipal corrente percapita	R\$/ano	Contínua	n/a

Variável	Definição	Unidade	Tipo de variável	Código SNIS
POP_TOT	Total População	habitante	Contínua	n/a
PRODUTIVI	Produtividades média de coletadores e motorista	Kg/empregado x dia	Contínua	IN018
RDO_HAB_AT	Massa RDO coletada <i>per capita</i> em relação à pop. total atendida	Kg/ (hab. dia)	Contínua	IN022
RDO_RPU	Ocorrência de coleta de RPU junto com RDO	existência	Nominal	Co154
REMESSA	Remessa para outros municípios	existência	Nominal	Co019
SEMANAL	1 vez por semana	%	Contínua	Co136
TAXA	Existência de taxa	existência	Nominal	FN201
TRAB_1000_HAB	CALCULO EMPREGADOS POR 1000	n/a	Contínua	n/a
TRAB_SOCIAL	Existência de trabalho social executado pela prefeitura	existência	Nominal	Ca008
TX_COB_TOT	Taxa cobertura da coleta RDO em relação à pop. total	%	Contínua	IN015
TX_CS_URB	Taxa de cobertura da col. Seletiva porta-a-porta em relação a pop. Urbana	%	Contínua	IN030
TX_EMPR_PROP	incidência de empregados próprios	%	Contínua	IN007
TX_PORTA	Taxa. cobertura de coleta direta RDO relativo à pop. urbana	%	Contínua	IN014
TX_RECU	Taxa de recuperação de recicláveis em relação à quantidade de RDO e RPU	%	Contínua	IN031
TX_TERCE	Taxa de terceirização da coleta	%	Contínua	IN017