



Quanto custa escolher a gestão de resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais?

Rosângela Aparecida Soares Fernandes ^I
Victor Henrique Lana Pinto ^{II}
Lucas Fonseca Camargo ^{III}

Resumo

Esse trabalho teve como objetivo analisar, de forma empírica, os principais fatores determinantes de custo per capita de resíduos sólidos urbanos (RSU) nos municípios mineiros. Para isso, modelos de regressão múltipla linear foram estimados para identificar quais variáveis são relevantes para explicar os custos de manejo dos resíduos sólidos urbanos em 490 municípios mineiros em 2019. As variáveis analisadas foram: custo per capita de resíduos sólidos urbanos; execução da coleta por agente público; execução da coleta por agente privado; execução da coleta mista; não existência de coleta seletiva e o porte do município. Os resultados evidenciam que a execução pública representa a maior redução no custo de RSU, seguida pela execução mista e por fim, a execução por agente privado. Além disso, este estudo verifica que quanto menor a cidade, maiores serão os custos per capita à esfera pública, caso optem por repassar a execução do serviço de coleta ao setor privado. Concluiu-se que os custos de RSU em Minas Gerais no ano de 2019 variam a depender da forma escolhida pelas prefeituras para a prestação do serviço de coleta.

Palavras-chave: Gestão Pública; Minas Gerais; Custos de Resíduos Sólidos Urbanos.

Código JEL: R21; R31; R32.

^I Doutorado em Economia Aplicada pela Universidade Federal de Viçosa - UFV. Professora Associada III no Departamento de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP - Campus Mariana-MG. E-mail: rosangela.fernandes@ufop.edu.br. <https://orcid.org/0000-0003-3815-0082>

^{III} Graduado em Ciências Econômicas pela Universidade Federal de Ouro Preto. E-mail: lucas.camargo1@aluno.ufop.edu.br

^{II} Doutorado em Economia Aplicada pela Universidade Federal de Viçosa. Professor no Departamento de Economia da Universidade Federal de Viçosa. E-mail: victor.h.lana@ufv.br. <https://orcid.org/0000-0001-8318-4009>

How Much Does It Cost to Choose Urban Solid Waste Management in Minas Gerais?

Abstract

This study aimed to empirically analyze the main determinants of per capita cost of urban solid waste (USW) in municipalities of Minas Gerais, Brazil. Multiple linear regression models were estimated to identify relevant variables explaining the management costs of urban solid waste in 490 municipalities in 2019. The variables analyzed included per capita cost of urban solid waste, collection executed by public agent, collection executed by private agent, mixed collection execution, absence of selective collection, and municipality size. The results indicate that public execution leads to the greatest reduction in USW costs, followed by mixed execution and finally private execution. Additionally, this study finds that smaller cities incur higher per capita costs to the public sphere if they choose to delegate collection services to the private sector. It was concluded that USW costs in Minas Gerais in 2019 vary depending on the municipality's chosen method for waste collection service provision.

Keywords: Public Management; Minas Gerais; Urban Solid Waste Costs.

Introdução

Resíduos sólidos urbanos (RSU) representam todos os tipos de substâncias produzidas nas áreas urbanas, resultantes de atividades domésticas, comerciais, industriais, de prestação de serviços e de limpeza pública. Sua geração pode ser afetada por fatores como o crescimento populacional das cidades, expansão econômica, processos de urbanização e elevação do padrão de vida de seus habitantes, sobretudo em países em desenvolvimento (Minghua *et al.*, 2017). A elevada quantidade e diversidade de RSU, as áreas inadequadas para a sua disposição, os custos das etapas de manejo e a cultura histórica de aplicação de recursos escassos representam alguns dos obstáculos evidenciados para o descarte adequado dos resíduos (Tassinari, 2020). Além disso, a produção de RSU cresce em proporção superior à taxa de urbanização (Galindo, 2022), evidenciando, em alguma medida, a relevância do debate acerca do tema.

Especificamente, o Brasil configura um dos países que mais gera RSU, cuja destinação deveria receber tratamento com soluções economicamente viáveis, conforme a legislação e as tecnologias disponíveis. Entretanto, mesmo que parcialmente, esses resíduos são muitas vezes despejados a céu aberto, lançados na



rede pública de esgotos ou queimados (Antenor; Szigethy, 2020). Segundo dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – Abrelpe (2020), em 2019, o Brasil produziu cerca de 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos, sendo que 92% deste total (72,7 milhões de toneladas) foram atendidos pelo serviço de coleta. Ademais, no mesmo ano, 40,5% do total de resíduo originado no país obteve destinação inadequada.

Embora haja avanço em direção a modelos mais eficientes e sustentáveis de gestão de resíduos no mundo, o Brasil ainda enfrenta deficiências com indicadores médios comparativamente menores em relação a outras nações de mesma faixa de renda e nível de desenvolvimento (ABRELPE, 2020). Geralmente, o planejamento e a execução de serviços de coleta no país são de responsabilidade dos municípios, que têm o desafio de oferecer sistema de coleta à população (Sujaudidin; Huda; Rafiqul Hoque, 2008). Contudo, nos últimos anos, os municípios brasileiros de pequeno e médio portes apresentaram déficit de prestação de serviço de coleta de resíduos (Brasil, 2020), ressaltando a pertinência de estudos voltados à compreensão de seus custos, principalmente, a nível municipal.

Os municípios do estado de Minas Gerais, por exemplo, obtiveram no passado redução no uso de vazadouros a céu aberto para disposição dos RSU. Porém, Moreira, Ribeiro e Sousa (2024) destacam que entre 2001 e 2016 os indicadores de gestão registrados no estado indicou que a situação na época se encontrava distante dos objetivos previstos. No que tange aos custos dos RSUs, seu dimensionamento pode estar estritamente relacionado à morfologia das cidades, seu traçado, a densidade demográfica e o tipo de serviço almejado pela população. Além disso, os hábitos culturais da população podem influenciar esses custos. Por exemplo, em comunidades onde há maior nível de engajamento e solidariedade com a sustentabilidade, espera-se que os custos de limpeza sejam menores e que haja maior facilidade na implementação de programas de coleta seletiva (Rodrigues; Magalhães Filho; Pereira, 2016).

Assim, a partir da percepção de que muitos municípios mineiros não conseguiram atender às exigências legais para a destinação ambientalmente adequada dos resíduos sólidos, investigar os custos de RSU no estado mostra-se crucial para a gestão e alocação de recursos que garantam a sustentabilidade financeira e ambiental. Ao mesmo tempo, compreender a magnitude dos determinantes desses custos permite a formulação de políticas mais eficazes e contribui para a mitigação dos impactos ambientais associados ao manejo inadequado dos resíduos. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo analisar possíveis determinantes dos custos de coleta de RSU nos municípios do estado de Minas Gerais no ano de 2019.



Este estudo traz algumas contribuições à literatura correlata. Primeiramente, esclarece alguns dos aspectos que mais influenciam os custos de coleta de RSU nos municípios mineiros no período mais recente, ajudando a identificar padrões comuns entre as cidades. Além disso, considera as diferenças de porte populacional dos municípios com o intuito de obter resultados que melhor representam a realidade das municipalidades do estado de Minas Gerais. Ainda, o estudo fornece estimativas dos custos médios per capita de RSU que recaem sobre as prefeituras mineiras a depender da forma como a gestão de RSU é feita e da dimensão populacional dessas cidades.

Além disso, este artigo colabora com informações que podem ser utilizadas por gestores municipais para desenvolver políticas mais eficazes de gestão de resíduos sólidos. Ademais, aprofunda na compreensão da proporção em que as variáveis selecionadas influenciam os custos de coleta de resíduos, contribuindo para um melhor entendimento das dinâmicas locais nos municípios mineiros.

Revisão Da Literatura Acerca De Rsu

Nesta seção, apresenta-se uma breve revisão da literatura enfocada nos estudos que analisam a gestão de RSU. Desta forma, busca-se, a partir da discussão dos objetivos e principais achados de estudos essenciais à temática, trazer luz ao objeto de estudo deste artigo.

Massukado *et al.* (2013) realizaram diagnóstico sobre gestão de RSU, no Brasil, de 2000 a 2008, com destaque para a destinação final e os resíduos orgânicos. Seus resultados evidenciaram que, em 2008, somente 1,6% dos resíduos eram encaminhados à compostagem e 60% destinados para aterros sanitários. No entanto, 86% dos municípios realizavam a disposição em lixões e aterros controlados. Os autores observaram a necessidade de incentivar a implantação de novas unidades de compostagem e a separação dos resíduos orgânicos na fonte. Seus resultados sugerem a formação de consórcios públicos como alternativa para os municípios, principalmente para os de pequeno porte.

Ichinose, Yamamoto e Yoshida (2013) estimaram a eficiência dos serviços públicos e privados em 43 cidades do Japão. Com um sistema muito parecido com o do Brasil, no país asiático, a responsabilidade do manejo e a escolha da melhor forma de execução do serviço são determinadas pelas prefeituras. Neste trabalho, foi analisado a quantidade de resíduos gerados e os gastos totais com o manejo, tanto pelo operador público quanto pelo operador privado. Por meio de análise por envoltória de dados os autores obtiveram a eficiência de cada município. Seus



resultados apontaram que, no Japão, quanto menor a densidade demográfica da cidade, maiores os custos de manejo de RSU.

Dostálová (2014) comparou a eficiência entre os prestadores de serviço público e privado no manejo de RSU na República Tcheca. Também a partir da análise envoltória de dados, o pesquisador selecionou as variáveis: gastos totais com manejo, população do município, volume coletado, área municipal, containers coletados e população atendida. Os resultados estatisticamente significativos foram: tamanho dos municípios (utilizada com variável *dummy* para municípios com menos de 1000 habitantes); forma de pagamento (pagamento por quantidade ou per capita, também como variável *dummy*) e frequência de coleta. O estudo apontou que os municípios poderiam reduzir, em até 30%, os custos com o manejo de RSU, se diminuíssem a frequência de coleta e utilizassem o modelo de pagamento per capita.

Rodrigues, Magalhães Filho e Pereira (2015) analisaram os fatores que influenciam, de forma direta, os custos per capita dos RSU nas capitais dos 26 estados brasileiros. A partir de uma regressão multivariada, os autores utilizaram o logaritmo dos custos per capita de RSU, da população urbana, a existência de coleta seletiva e o tipo de gestão na realização do serviço. Os resultados indicaram que existe correlação positiva entre o tamanho da população e o custo per capita nas capitais brasileiras. Além disso, os custos com resíduos sólidos dependem da forma de manejo escolhida (existência da coleta seletiva), mas são fortemente influenciados pela forma de gestão assumida pelo município. Encontraram, ainda, que a existência do setor privado na operação dos serviços tende a trazer pressões sobre os custos dos serviços oferecidos maiores que quando operados pelo poder público ou de forma mista.

Vasconcelos *et al.* (2016) buscaram examinar os fatores determinantes dos custos per capita dos RSU em 227 municípios paranaenses. Os autores estimaram um modelo de regressão linear múltipla *backward*. As variáveis utilizadas foram: custo per capita de RSU, execução da coleta seletiva pelo agente público, execução da coleta seletiva pelo agente privado, execução da coleta seletiva pelo agente público e privado e a não existência da coleta e a densidade populacional município. Os resultados indicaram que a densidade da população e a coleta realizada pelo setor privado foram os geradores de maiores custos na gestão dos resíduos sólidos. Ou seja, aumentos na densidade populacional na razão de 1 habitante a mais por quilômetro quadrado, *ceteris paribus*, elevam os gastos públicos em 12 centavos.

Schappo, Ferreira e Santos (2017) avaliam a eficiência dos gastos com os recursos aplicados pelos setores públicos e privados na coleta de RSU em municípios do Sul do Brasil. Para tal, utilizaram análise envoltória de dados e estimaram

correlação de Pearson. Com os indicadores de eficiência, os autores estimaram modelos Tobit e de mínimos quadrados ordinários. Ao fazer isso, verificaram o comportamento das variáveis socioeconômicas, o índice de desenvolvimento humano municipal, o produto interno bruto per capita e a densidade demográfica. Os resultados evidenciaram que somente 15 municípios foram considerados eficientes, o que representou 3,64% dos municípios estudados, com destaque para o estado do Paraná.

Mais recentemente, Souza e Vazquez (2018) buscaram analisar qual o modelo adequado de gestão de RSU para a cidade de Paraíba do Sul, no estado do Rio de Janeiro. Especificamente, realizaram as estimativas da geração de resíduos sólidos, dos custos para coleta convencional e dos custos para disposição final dos resíduos sólidos em aterro sanitário. Os pesquisadores observaram baixa eficiência de aplicação das leis ambientais no contexto de cidades com até 50 mil habitantes e a necessidade de investimentos para adequação da gestão de RSU.

Procedimentos Metodológicos

Para identificar os principais determinantes de custo no manejo de RSU dos municípios mineiros, este estudo realiza uma análise de natureza quantitativa-descritiva. Para isso, obteve-se informações do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (Brasil, 2020) sobre operações e custos de 490 cidades do estado de Minas Gerais no ano de 2019¹. Inicialmente, busca-se avaliar o efeito de cada um dos regressores sobre a variável de resultado, identificando aqueles que apresentam maior (ou menor) associação com os custos de RSU incorridos pelos municípios mineiros. Depois, busca-se estimar um novo modelo controlando para a heterogeneidade demográfica das cidades amostradas. Por fim, calcula-se o custo per capita médio que recai sobre os cofres públicos das prefeituras mineiras em 2019 considerando o perfil habitacional das municipalidades bem como a origem da execução da gestão de RSU, pública, privada ou mista.

A) Determinantes dos custos de RSU (modelo 1)

Empregou-se o modelo de regressão linear múltipla, com o método de estimação *backward*, em que, primeiramente, o conjunto de regressores foi maior e, na sequência, retirados os que não apresentavam contribuição estatisticamente significativa (Hair Jr.; Anderson; Tatham, 2005), conforme equação (1), a seguir:

$$\ln CRSU_i = \beta_0 + \beta_1 \ln DPOP_i + \beta_2 ECPU_i + \beta_3 ECPR_i + \beta_4 ECPP_i + \beta_5 NEXC_i + \varepsilon_i \quad (1)$$



em que $CRSU_i$ equivale ao logaritmo do custo per capita de RSU do município i , $DPOP_i$ denota o logaritmo natural da densidade populacional de i , $ECPU_i$ indica *dummy* igual a 1 se a execução da coleta na cidade i foi realizada pelo agente público, $ECPR_i$ denota variável binária com valor 1 se a coleta no município i foi realizada por agente privado, $ECPP_i$ é também variável categórica igual a 1 caso a coleta no município mineiro i tenha sido feita por agente público e privado. Por fim, $NEXC_i$ ² indica a inexistência de coleta no município i e ε_i o termo de erro. O modelo foi calculado a partir do estimador de mínimos quadrados ordinários (MQO) a partir do *Statistical Package of Social Sciences* (SPSS), versão 21.

B) A heterogeneidade municipal e os custos de RSU (modelo 2)

De forma análoga ao modelo 1, adotou-se uma regressão linear múltipla com estimação *backward* visando controlar as diferentes estruturas demográficas dos 490 municípios mineiros investigados. Para fins de simplificação, considera-se, neste estudo, “estruturas demográficas” como o tamanho, porte dos municípios. Para isso, além dos regressores expostos na seção a., adicionou-se, de modo similar ao recomendado em Dostálová (2014), a variável $Porte_i$, conforme equação (2):

$$\ln CRSU_i = \beta_0 + \beta_1 \ln DPOP_i + \beta_2 ECPU_i + \beta_3 ECPR_i + \beta_4 ECPP_i + \beta_5 NEXC_i + \beta_6 Porte_i + \varepsilon_i \quad (2)$$

em que $Porte_i$ é uma variável com intuito de capturar o efeito da estrutura demográfica das cidades sobre os custos de RSU avaliadas.

De forma geral, o modelo 2 visa obter resultados potencialmente mais coerentes com a realidade por incorporar a heterogeneidade populacional entre as cidades examinadas. Estas foram divididas em 5 categorias de acordo com seus respectivos números de habitantes, utilizando valores de 0 a 4. Para as cidades com população igual ou inferior a 2.000 habitantes foi utilizado o valor 0, para aquelas com população entre 2.001 e 10.000 habitantes atribuiu-se valor 1, já as cidades que possuem entre 10.001 e 100.000 habitantes o valor 2 foi utilizado, para as cidades com a população mínima de 100.001 até no máximo 1.000.000 de habitantes foi utilizado o valor 3 e, por fim, as cidades com número de habitantes superior a 1.000.000 foi utilizado o valor 4. Por fim, assim como o modelo 1, o modelo 2 foi avaliado a partir do estimador de MQO por meio do SPSS.



C) Custo médio per capita de RSU para diferentes perfis demográficos

Por fim, de forma adicional, a partir dos resultados do modelo 2, estima-se o custo médio per capita de RSU para diferentes possibilidades consideradas neste estudo. Nomeadamente, avalia-se cada perfil de execução do serviço (público, privado ou misto) para os 5 diferentes portes expostos anteriormente na seção b. De forma mais clara, foram adotados valores de 0 ou 1 para as variáveis *dummies* e de 0 a 4 para cada porte determinado. Desta forma, obtém-se o custo médio per capita incorrido pelas prefeituras mineiras em 2019 ao adotarem diferentes formas de executar o serviço de gestão de RSU a depender de sua estrutura populacional.

D) Variáveis e fontes de dados

Neste estudo, a escolha das variáveis, bem como o modelo econométrico exposto na seção anterior, foi norteada por Rodrigues, Magalhães Filho e Pereira (2016). Desta forma, apresenta-se, a seguir, o Quadro 1 com a descrição das variáveis selecionadas para a estimação do modelo. A coleta dos dados utilizados neste estudo se refere ao ano de 2019 que, à época, representavam as informações mais atualizadas disponíveis para investigação. De forma geral, o estudo conta com informações de 490 municípios do estado de Minas Gerais para o ano de 2019 a partir do SNIS e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019).

Quadro 1 – Variáveis utilizadas nos modelos 1 e 2

Variável	Descrição	Fonte
$CRSU_i$	Divisão do custo total de RSU do município i (R\$) pela sua respectiva população (POP_i). Compreende todos os gastos públicos com gestão e manejo, desde a coleta, tratamento até destinação final.	SNIS
POP_i	Número de habitantes residentes no município i .	IBGE
AM_i	Área (km ²) do município i .	IBGE
$DPOP_i$	Número de habitantes por área (hab/km ²) no município i . Divisão entre as variáveis POP_i e AM_i .	IBGE
$ECPU_i$	Presença da modalidade de execução de manejo público (dummy = 1), zero caso contrário. Considera a contratação de servidores para execução por regime estatutário.	SNIS

(Continua)



(Continuação)

$ECPR_i$	Presença da modalidade de execução do manejo privado (dummy = 1) e zero caso contrário. Considera a responsabilidade do setor privado na execução do serviço, contratação de servidores e planejamento.	SNIS
$ECPP_i$	Presença da modalidade de execução do manejo público e privado (dummy = 1), zero caso contrário. Concessão de serviço público, em que o setor público entra com o investimento em infraestrutura e equipamentos, e o setor privado presta serviço parcial.	SNIS
$NEXC_i$	Inexistência do manejo público e/ou privado (dummy = 1) e zero caso contrário.	SNIS
$Porte_i$	Categorias a partir da população municipal, sendo elas 0 (≤ 2 mil hab.), 1 (≤ 10 mil hab.), 2 (≤ 100 mil hab.), 3 (≤ 1 milhão hab.), e 4 (> 1 milhão hab.)	-

Fonte: Elaboração própria.

Resultados

Os resultados do trabalho estão reportados nesta seção. Primeiramente, apresentam-se as estatísticas descritivas para a amostra de 490 municípios mineiros em 2019, conforme Tabela 1, a seguir. Depois, apresentam-se os resultados dos modelos 1 e 2, seguidos das estimações dos custos médios per capita de RSU incorridos pela esfera pública municipal de Minas Gerais.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas

Variável	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	Desvio-padrão
$CRSU_i$	4,63	393,17	53,93	61,84	41,36
$DPOP_i$	2,85	7581,23	25,73	85,41	397,46
$ECPU_i$	0	1	0	Dummy	Dummy
$ECPR_i$	0	1	0	Dummy	Dummy
$ECPP_i$	0	1	0	Dummy	Dummy
$NEXC_i$	0	1	0	Dummy	Dummy

Fonte: Resultados da pesquisa.



As informações mostradas na Tabela 1, apesar de fornecerem dados ainda bastante primários acerca das variáveis investigadas, exibem algumas informações interessantes acerca da amostra examinada neste estudo. Nota-se, por exemplo, que o custo per capita com RSU nos municípios mineiros é, na média, R\$61,84. Contudo, dado o desvio-padrão de R\$41,36, pode-se observar relativa variação entre os municípios amostrados, evidenciando alguma heterogeneidade no que tange os gastos com RSU entre as cidades avaliadas no estado de Minas Gerais. Essa observação se torna ainda mais explícita ao se analisar os valores extremos para esse regressor. Os resultados indicados na Tabela 1, por exemplo, mostram que há municípios com custos per capita com RSU variando entre R\$4,63 até R\$393,17 no ano de 2019.

Esses resultados se tornam relevantes para caracterização da região ao se notar as estatísticas descritivas para a variável $DPOP_i$. Embora a média para esta covariada demonstre valor próximo de 85 habitantes por km^2 , percebe-se que o elevado desvio-padrão de cerca de 397 pessoas por km^2 , assim como para a variável dependente, sugere grande variabilidade dos dados. Esta observação não é surpreendente devido à diversidade presente nos municípios mineiros no que se refere a perímetro e a população. Além disso, é possível notar que a menor densidade populacional da amostra é de aproximadamente 3 habitantes atingindo pouco mais que 7581 pessoas por km^2 para a cidade de maior densidade demográfica.

A Tabela 2, a seguir, exhibe os resultados da análise de variância (ANOVA) e valor de significância do teste F de Fischer, conforme:

Tabela 2 – Resultados ANOVA

Modelo	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F de Fischer	Prob.
Regressão	64,104	3	21,368	45,787	0,000
Resíduos	226,807	486	0,467		
Total	290,912	489			

Fonte: Resultados da pesquisa.



O teste $F = 45,787$ de Fischer revelou-se estatisticamente significativo a 1%, sugerindo que pelo menos uma variável independente explica a variabilidade da variável dependente. Diante desse resultado, estimou-se o modelo de regressão múltipla apresentado na equação (1). O modelo estimado pela regressão tem como objetivo ser um modelo explicativo e não preditivo. O R^2 ajustado de 22% não afeta a qualidade do modelo para os fins propostos. Ressalta-se que a variável $DPOP_i$ não apresentou significância estatística, conforme Tabela 1A, em apêndice. Dessa forma, procedeu-se a nova estimação desconsiderando esses dois regressores e obteve-se os resultados demonstrados na Tabela 3, na sequência.

Tabela 3 – Determinantes dos custos per capita de RSU em municípios mineiros em 2019 (modelo 1)

Variável	Não padronizados		Padronizados		t	Prob.	Colinearidade	
	B	Modelo padrão	Beta				Tolerância	VIF
Constante	5,941	0,179			33,173	0,000		
$ECPU_i$	-2,081	0,179	-1,333		-11,620	0,000	0,122	8,206
$ECPR_i$	-1,947	0,179	-0,915		-10,870	0,000	0,227	4,413
$ECPP_i$	-1,913	0,179	-1,117		-10,683	0,000	0,147	6,814

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os resultados reportados na Tabela 3 mostram que as três variáveis *dummies* foram diferentes de zero a 1% de significância estatística. A execução da coleta por agente público (ECPU), por agente privado (ECPR) e por agente público e privado (ECPP) apresentam, portanto, algum efeito sobre os custos de RSU nos municípios mineiros em 2019. Os coeficientes exibidos possuem valores negativos, o que sugere que a adoção de uma das três formas reduz, na média, o custo *per capita* do manejo de RSU nas cidades amostradas. Destaca-se que a interpretação se refere à variável binária base (NEXC), que foi omitida do modelo, de modo que as demais variáveis binárias têm NEXC como base, com seu valor sendo capturado pela constante.

Os resultados evidenciam ainda que a execução direta representa a maior redução no custo de RSU, seguida pela execução mista e por fim, execução por agente privado. Dentre os fatores que determinam os custos de RSU, essas foram



as variáveis que indicaram maiores coeficientes absolutos. Portanto, sugere-se que a forma escolhida na prestação de serviço de coleta representa os aspectos que melhor explicam os custos do manejo de RSU no estado de Minas Gerais. Por fim, além dos coeficientes estimados, a Tabela 3 traz o resultado do VIF, indicando ausência de multicolinearidade entre as variáveis explicativas. Por meio do teste de Durbin-Watson, constatou-se a independência dos resíduos.

Os resultados expostos na Tabela 3 não consideram, contudo, a heterogeneidade entre os municípios mineiros. Ou seja, os coeficientes calculados podem, em alguma medida, refletir o também efeito de características geográficas de cada cidade. Dessa forma, outros estudos com aplicações dessa natureza recorrem à inclusão de um regressor que consiga controlar para o tamanho ou estrutura demográfica das municipalidades investigadas. No contexto deste estudo, busca-se considerar no modelo 1, por exemplo, alguma forma de reduzir possível viés de variável relevante omitida. Ao fazer isso, pretende-se mitigar eventuais problemas econométricos que poderiam revelar efeito destoante daquele almejado; isto é, o efeito dos principais determinantes dos custos de RSU nas cidades mineiras em 2019.

Diante disso, adicionalmente, assim como exposto na seção 3, optou-se por seguir os procedimentos adotados no trabalho de Dostálová (2014). Para isso, o modelo 2 acrescenta uma nova variável independente para identificar o porte dos 490 municípios mineiros avaliados. Naturalmente, os resultados estimados por essa nova regressão trouxeram um modelo com maior poder de predição, elevando o R² ajustado para 25,4%. Na sequência, exibem-se na Tabela 4 os resultados da ANOVA e, depois, os resultados do modelo 2, reportados na Tabela 5.

Tabela 4 – Resultados ANOVA

Modelo	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F de Fischer	Prob.
Regressão	73,855	4	18,464	41,256	0,000 ^b
Resíduos	217,057	485	0,488		
Total	290,912	489			

Fonte: Resultados da pesquisa.



Assim como anteriormente (ver Tabela 2), o resultado do teste F de Fischer igual a 41,256 revelou-se estatisticamente significativo a 1%. Isto indica que pelo menos das variáveis independentes consideradas explica a variabilidade dos custos de RSU nos municípios mineiros em 2019. Nesse sentido, a Tabela 5, a seguir, mostra as relações entre os regressores apresentados na seção 3 e os custos de RSU com a inclusão de uma nova covariada com o intuito de controlar as dissimilaridades demográficas dos municípios mineiros, modelo 2.

Tabela 5 – Determinantes dos custos per capita de RSU em municípios mineiros em 2019 (modelo 2)

Variável	Não padronizados		Padronizados		t	Prob.	Colinearidade	
	B	Modelo padrão	Beta				Tolerância	VIF
Constante	6,372	0,198			32,154	0,000		
$ECPU_i$	-2,177	0,177	-1,394		-12,327	0,000	0,120	8,318
$ECPR_i$	-1,886	0,176	-0,886		-10,722	0,000	0,225	4,438
$ECPP_i$	-1,946	0,176	-1,136		-11,086	0,000	0,147	6,824
$Porte_i$	- 0,242	0,52	-0,197		-4,668	0,000	0,867	1,154

Fonte: Resultados da pesquisa.

O modelo 2 foi estimado com variável dependente logaritmo do custo per capita de resíduos sólidos urbanos (CRSU), assim como o modelo 1. Todas as variáveis *dummies* foram mantidas do lado direito da igualdade, uma vez que o modelo 1 demonstrou, em sua maioria, serem atributos relevantes na determinação da variável de resultado. Por fim, a variável $Porte_i$ foi inserida. Os resultados do modelo 2 se encontram ilustrados na Tabela 5.

Os resultados do modelo 2 permitem identificar a magnitude do efeito de cada determinante sobre os custos de RSU. Todas as medidas de execução de coleta incluídas no modelo 2, assim como a variável $Porte_i$, foram estatisticamente diferentes de zero a 1% de significância. Semelhante ao modelo anterior, as variáveis relacionadas à forma de execução do serviço de coleta continuaram tendo o maior impacto nos custos. Os valores do indicador VIF sugerem a ausência de

multicolinearidade entre as variáveis independentes. Através do teste de Durbin-Watson verificou-se a independência dos resíduos, *Durbin-Watson* igual a 1,968.

Dessa forma, apresenta-se, a seguir, a equação estimada para o modelo 2, que considera o porte dos municípios.

$$\ln CRSU_i = 6,372 - 2,177ECPU_i - 1,886ECPR_i - 1,946ECPP_i - 0,242Porte_i + \varepsilon_i \quad (3)$$

Nota-se que, *ceteris paribus*, a escolha da execução da coleta pelo agente público se torna a melhor opção, seguida pela execução mista e por fim, a execução privada, que, por sua vez, é a menos vantajosa das formas de execução do serviço. Ou seja, esses formatos de execução do manejo de RSU em Minas Gerais são aqueles que, em 2019, proporcionaram as maiores reduções dos custos per capita destes rejeitos. Nota-se que em ambos os modelos 1 e 2 as mesmas ordens de importância entre os fatores foram observadas, trabalhando a favor da robustez dos resultados alcançados neste estudo.

Diferentemente dos resultados encontrados por Rodrigues, Magalhães Filho e Pereira (2016) e Vasconcelos *et al.* (2016) a variação da densidade populacional (DPOP) não obteve significância estatística na amostra analisada para Minas Gerais em 2019. Esse resultado sugere que o aumento populacional, embora eleve a malha logística, não tem efeito médio e estatisticamente significativo sobre o custo per capita de RSU das cidades mineiras. Especificamente, considerando o porte das cidades mineiras, é possível perceber que aquelas com maior estrutura demográfica têm menor custo per capita na gestão dos resíduos sólidos urbanos. Tal resultado também é encontrado no trabalho de Ichinose, Yamamoto e Yoshida (2013) que constataram que cidades menores têm maiores custos logísticos e ineficiência mais elevada. De forma geral, nota-se que incrementos marginais no número de habitantes por quilômetro quadrado não influenciam a variável de resultado; contudo, ao se analisar o porte das cidades, nota-se que sua estrutura demográfica influencia os custos da gestão de resíduos sólidos de forma negativa.

A variável inexistência de coleta seletiva, descartada pelo modelo *backward* não apresentou significância estatística no modelo. Este resultado difere daquele encontrado no trabalho de Rodrigues, Magalhães Filho e Pereira (2016) para as capitais dos estados brasileiros. Diante dos resultados, tem-se que a forma de prestação do serviço representa maior efeito no custo per capita dos resíduos sólidos urbanos. Assim, a escolha pela execução direta torna os custos com o manejo mais vantajosos aos cofres públicos, evidenciado pela variável (ECPU). Tal resultado é consistente com aqueles obtidos no estudo de Massukado *et al.* (2013), no qual a prestação do serviço pelo setor privado se torna a opção mais cara e tem como



hipótese o fato dos custos serem maiores para empresas privadas, devido ao cumprimento de normas e legislações específicas.

De forma complementar, foi possível, por meio do modelo 2, elaborar uma matriz com todas as possibilidades de custos de RSU envolvidas na estimação. Pôde-se elaborar o cálculo de cada perfil de execução do serviço relacionando a cada porte de cidade. Para isso, foram adotados valores de 0 ou 1 para as variáveis *dummies* e de 0 a 4 para cada porte determinado, conforme explicitado anteriormente. Deste modo, obteve-se o valor de custo per capita de RSU em logaritmo. Isso possibilitou quantificar o custo per capita de cada porte de cidade conforme a escolha da forma de execução do serviço de coleta. Os resultados estão dispostos na Tabela 6, a seguir.

Tabela 6 – Predição do custo per capita médio de RSU

Variável	≤ 2 mil	≤ 10 mil	≤ 100 mil	≤ 1 milhão	> 1 milhão
$ECPU_i$	66,35	52,09	40,89	32,10	25,20
$ECPR_i$	88,77	86,86	54,71	42,95	33,72
$ECPP_i$	83,60	65,63	51,52	40,45	31,75
Misto	22,42	34,77	13,82	10,85	8,52

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os resultados reportados na Tabela 6 evidenciam que, por exemplo, nos municípios de mais de 1 milhão de habitantes, a coleta realizada pelo agente público implica, na média, em custos per capita de R\$25,50 por habitante em 2019. De forma mais expressiva, observa-se que os municípios mineiros com quantidade igual ou inferior a 2 mil residentes gerou custo médio equivalente a R\$88,77 por indivíduo, em 2019, quando a gestão dos RSU é feita por agentes privados. Este resultado insinua o ganho de economia em escala na atividade de coleta para maior rede, chegando a ser quase quatro vezes mais barata a execução do serviço entre o melhor e pior cenário.

Analisando separadamente os efeitos da escolha da forma da prestação da coleta para os diferentes portes de cidades, observa-se que em cidades com até um milhão de habitantes, a diferença estimada entre a melhor opção e a pior é de R\$10,85 per capita. Este resultado significa que o efeito nos cofres públicos é de R\$



10,85 por habitante, montante total que pode variar entre 1.085.000 e 10.850.000 reais do orçamento anual de cada cidade.

Segundo IBGE (2019), a população média do estado de Minas Gerais, no ano de 2019, era de 22.975 habitantes por cidade. Utilizando esse valor e as informações reportadas na Tabela 6, é possível inferir que uma cidade com 22.975 habitantes pode ter diferença em seus cofres no valor de 317.514 reais ao ano, somente pelo fato de escolher determinada forma de execução do serviço.

Em síntese, os resultados encontrados sugeriram que quanto menor a cidade, maiores serão os custos per capita à esfera pública, caso optem por repassar a execução do serviço de coleta ao setor privado. Mediante esse contexto, a análise a respeito da melhor opção quanto à forma de execução de coleta deve ser estudada, caso a caso. Entretanto, sabe-se que a administração pública não detém controle habitacional; logo, seu porte não pode ser drasticamente ajustado. Por outro lado, há possibilidade de escolher a forma de execução do manejo de RSU que, de acordo com este estudo, denota fator de maior impacto aos cofres públicos.

Considerações Finais

Esse trabalho teve como objetivo analisar, de forma empírica, os principais determinantes dos custos de RSU nos municípios mineiros em 2019. Para isso, primeiramente foram estimados modelos de regressão múltipla linear que permitiram identificar as variáveis relevantes para explicar os custos de manejo dos RSU em 490 municípios do estado. Depois, obtiveram-se os custos médios per capita de RSU dessas cidades considerando diferentes estruturas demográficas e formas de execução do serviço de coleta de rejeitos.

Os resultados obtidos nesse trabalho sugeriram que a forma de manejo escolhida denota fator de maior efeito na gestão de RSU. A execução pública representa a maior redução no custo de RSU, seguida pela execução mista e por fim, a execução por agente privado, controlando ou não para a heterogeneidade populacional das cidades. Por fim, este estudo verifica que quanto menor a cidade, maiores serão os custos per capita à esfera pública, caso optem por repassar a execução do serviço de coleta ao setor privado. De forma geral, os ganhos em escala das cidades com maior número de habitantes foram relevantes, uma vez que se observou menores custos per capita quanto maior a população.

Ao poder público, esse estudo pode contribuir na identificação da estrutura de serviço com melhor desempenho financeiro, isso dentre as opções permitidas pela legislação brasileira. Considerando os municípios mineiros, ficou evidente que a execução direta pelo administrador público foi a opção com melhor custo para os



cofres públicos, considerando o custo per capita. Para as cidades que não queiram realizar a administração direta do tema, a execução mista denota, portanto, opção intermediária (em termos de custos) ao repasse total para o setor privado, que tende a ser a forma de execução mais cara aos cofres públicos.

Um fator a ser melhor compreendido é a diferença na execução do serviço pelo setor público e privado, uma vez que a execução pelo setor público, embora mais vantajosa aos cofres, necessita de investimento em infraestrutura e gestão. Enquanto a execução pelo setor privado se torna mais cara devido ao cumprimento de legislações e demandas exigidas pelos contratos de concessão de serviço. Além disso, o uso de dados mais recentes poderá ser considerado em estudos futuros para avaliar se os padrões observados se mantêm ou evoluem com novas informações.

Uma informação também relevante ao poder público, revelado pelo modelo, foi o efeito nulo da falta de coleta seletiva no aumento do custo per capita do RSU. O fato da variável NEXC não apresentar significância estatística mostra que os programas e projetos desse tema, embora necessitem de um calendário particular, que respeite seus prazos e atendam suas especificidades durante o processo de coleta, não afetam os gastos *per capita* das prefeituras.

Em suma, neste artigo, foi possível concluir que o fator determinante dos custos de RSU de maior impacto às contas públicas é a forma escolhida para a prestação do serviço de coleta. O tamanho das cidades atendidas também se mostrou relevante, sendo que quanto menor o número de habitantes, maiores os custos per capita. Os programas de coleta seletiva, tema importante para a sustentabilidade, não apresentaram significância sobre os custos. Assim, este resultado mostra que sua implementação pode ser benéfica à população, sem prejuízo ao orçamento público.

Referências

ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos resíduos sólidos 2020. São Paulo: ABRELPE, 2020. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 1 mar. 2021.

ANTENOR, S.; SZIGETHY, L. Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos. Centro de Pesquisa em Ciência, Tecnologia e Sociedade, Rio de Janeiro, 7 set. 2020. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/en/topics/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>. Acesso em: 23 mar. 2021.



BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos: 2019. Brasília, DF: SNS, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/diagnosticos-antiores-do-snis/residuos-solidos-1/2019/Diagnostico_RS2019.pdf. Acesso em: 1 mar. 2021.

DOSTÁLOVÁ, K. **Hodnocení efektivnosti odpadového hospodářství obcí** metodou DEA. 2014. 125 f. Master Thesis (Public Economy and Administration) – Faculty of Economics and Administration, Masarykova Univerzita, Brno, 2014. Disponível em: <https://is.muni.cz/th/sxO99/>. Acesso em: 1 mar. 2021.

Galindo, J. R. F. Estabilização de solos tropicais com resíduos da construção civil e escória de aciaria para uso em pavimentação. 2022. 158 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2022. Disponível em: <https://locus.ufv.br//handle/123456789/31042>. Acesso em: 21 mar. 2021.

HAIR JR., J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. Análise multivariada de dados. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

IBGE. IBGE cidades. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/panorama>. Acesso em: 1 mar. 2021.

ICHINOSE, D.; YAMAMOTO, M.; YOSHIDA, Y. Productive efficiency of public and private solid waste logistics and its implications for waste management policy. IATSS Research, Tokyo, v. 36, n. 2, p. 98-105, Mar. 2013. DOI 10.1016/j.iatssr.2013.01.002.

MASSUKADO, L. M.; MILANEZ, B.; LUEDEMANN, G.; HARGRAVE, J. Diagnóstico da gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil: uma análise pós PNSB 2008 - ênfase na destinação final e nos resíduos orgânicos. Revista DAE, São Paulo, n. 192, p. 22-33, maio/ago. 2013. DOI 10.4322/dae.2014.105.

MINGHUA, Z.; XIUMIN, F.; ROVETTA, A.; QICHANG, H.; VICENTINI, F.; BINGKAI, L.; MURRAY, A.; SKENE, K.; HAYNES, K. The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. Journal of Business Ethics, Dordrecht, v. 140, p. 369-380, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>.

MOREIRA, K. S.; RIBEIRO, A. G. C.; SOUSA, P. E. O. Associação entre indicadores socioeconômicos e ambientais e a destinação final dos resíduos sólidos urbanos dos municípios de Minas Gerais. Gestão e Sustentabilidade Ambiental, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 213-227, mar. 2024. DOI: <https://doi.org/10.59306/rgsa.v13e12024e9317>.



RODRIGUES, W.; MAGALHÃES FILHO, L. M.; PEREIRA, R. S. Análise dos determinantes dos custos de resíduos sólidos urbanos nas capitais estaduais brasileiras. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 1-12, jan./abr. 2016. DOI 10.1590/2175-3369.008.001.A002.

SCHAPPO, F.; FERREIRA, D. D. M.; SANTOS, R. R. Uma aplicação da DEA (data envelopment analysis) na gestão de resíduos sólidos nos municípios da região Sul: quem é quem quando se mede a eficiência?. *In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA EM CONTABILIDADE DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO*, 14., 2017, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: USP, 2017. p. 1-18. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/197907/Artigo%20Congresso%20USP.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2021.

SOUZA, A. M. G.; VAZQUEZ, E. G. Proposta para a gestão de resíduos sólidos urbanos, em aterro sanitário, da cidade de Paraíba do Sul-RJ, utilizando indicadores de custo. *Gestão e Gerenciamento*, Rio de Janeiro, n. 10, p. 51-60, 2018. DOI 10.17648/nppg-gestaoegerenciamento-2447-1291-v10-5.

SUJAUDDIN, M.; HUDA, M. S.; RAFIQUUL HOQUE, A. T. M. Household solid waste characteristics and management in Chittagong, Bangladesh. *Journal of Waste Management*, Elmsford, v. 28, n. 9, p. 1688-1695, 2008. DOI 10.1016/j.wasman.2007.06.013.

Tassinari, D. J. Análise da gestão dos resíduos sólidos urbanos no município de Igarapé (MG): subsídios para a gestão de resíduos sólidos orgânicos. 2020. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2020. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/12785>. Acesso em: 1 mar. 2021.

VASCONCELOS, M.; BACH, T.; MATIOLLO, D.; MUNHOZ JUNIOR, J. P.; SOUZA, A.; SILVA, W. V. Evidências relativas aos custos de resíduos sólidos urbanos municipais: uma análise dos fatores determinantes. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS*, 23., 2016, Porto de Galinhas. Anais eletrônicos [...]. Porto de Galinhas, 2016. p. 1-14. Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/4136/4137>. Acesso em: 1 mar. 2021.

Notas

- ¹ O estado de Minas Gerais possui 853 municípios, contudo, alguns municípios não divulgaram as informações ao SNIS. Dos 652 municípios que responderam ao SNIS, apenas 490 municípios dispuseram as informações necessárias para a realização da análise. Foram retirados da amostra todos os municípios com informações incompletas (Brasil, 2020).
- ² A variável binária NEXC foi excluída do modelo indicando que esta é a dummy base de modo a evitar problemas econométricos relativos a multicolinearidade perfeita.



Apêndice A

Tabela 1.A – Resultados da Estimativa de Regressão Linear Múltipla Inicial

Variáveis	Coeficientes não padronizados		Coeficientes padronizados	t	Prob.	Estatística de colinearidade	
	B	Modelo padrão	Beta			Tolerância	VIF
Constante	6,107	0,219		27,867	0,000		
ECPU	-2,104	0,181	-1,348	-11,609	0,000	0,119	8,395
ECPR	-1,926	0,180	-,915	-10,708	0,000	0,227	4,413
ECPP	-1,920	0,180	-1,117	-10,687	0,000	0,147	6,814
NEXC	-0,028	0,068	-0,017	-0,410	0,682	0,920	1,087
DPOP	-0,040	0,030	-0,059	-1,319	0,188	,913	1,231

Fonte: Resultados da Pesquisa.



Apêndice B

Tabela 1.B – Correlação

		CRSU	ECPU	ECPR	ECPP	NEXC	PORTE
Correlação de Pearson	CRSU	1,000	-0,135	-0,061	0,014	-0,048	-0,139
	ECPU	-0,135	1,000	-0,457	-0,698	0,154	-0,310
	ECPR	-0,061	-0,457	1,000	-0,218	-0,112	0,309
	ECPP	0,014	-0,698	-0,218	1,000	-0,053	0,089
	NEXC	-0,048	0,154	-0,112	-0,053	1,000	-0,307
	PORTE	-0,139	-0,310	0,309	0,089	-0,307	1,000
Sig. (1-Tailed)	CRSU	.	0,001	,088	0,380	0,143	0,001
	ECPU	0,001	.	0,000	0,000	0,000	0,000
	ECPR	0,088	0,000	.	0,000	0,006	0,000
	ECPP	0,380	0,000	0,000	.	0,120	0,025
	NEXC	0,143	0,000	0,006	0,120	.	0,000
	PORTE	0,001	0,000	0,000	0,025	0,000	.
N	CRSU	490	490	490	490	490	490
	ECPU	490	490	490	490	490	490
	ECPR	490	490	490	490	490	490
	ECPP	490	490	490	490	490	490
	NEXC	490	490	490	490	490	490
	PORTE	490	490	490	490	490	490

Fonte: Resultados da Pesquisa.



Tabela 2.B – Variáveis Aceitas/Removidas

Modelo	Variáveis	Variáveis Removidas	Método
1	PORTE, ECPP, NEXC, ECPR, ECPU ^b	.	Aceito
2	.	NEXC	Backward (Critério: Probability de F para remoção $\geq ,100$).

a. Variável Dependente: CRSU

b. Todas as variáveis solicitadas inseridas

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Tabela 3.B – Variáveis Aceitas/Removidas

Modelo	R	R ²	R ² Ajustado	Durbin-Watson
1	0,507 ^a	0,257	0,249	
2	0,504 ^b	0,254	0,248	1,968

a. Preditores: (Constante), PORTE, ECPP, NEXC, ECPR, ECPU

b. Preditores: (Constante), PORTE, ECPP, ECPR, ECPU

c. Variável Dependente: CRSU

Fonte: Resultados da Pesquisa.



Tabela 4.B – Análise de Variância (ANOVA)

Modelo		Soma dos Quadrados	DF*	Quadrado Médio	Teste F Fischer	Probabilidade
1	Regressão	74,772	5	14,954	33,487	0,000 ^b
	Resíduos	216,140	484	0,447		
	Total	290,912	489			
2	Regressão	73,855	4	18,464	41,256	0,000 ^c
	Resíduos	217,057	485	0,488		
	Total	290,912	489			

a. Preditores: (Constante), PORTE, ECPP, NEXC, ECPR, ECPU

b. Preditores: (Constante), PORTE, ECPP, ECPR, ECPU

c. Variável Dependente: CRSU

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Nota:*DF referem-se os graus de liberdade.

Recebido em: 25/07/2024
Aprovado em: 05/12/2024