

urbe

Revista Brasileira de Gestão Urbana

scielo.br/urbe

 PUCPRESS

Gestão de resíduos domiciliares: uma análise sistêmica sob a ótica da sustentabilidade financeira de municípios e rendimentos de catadores de materiais recicláveis no Brasil

Domestic waste management: A systemic analysis from the point of view the financial sustainability of municipalities and revenue of waste pickers in Brazil

Larissa Gomes Sena ^[a] 

Vitória, ES, Brasil

^[a] Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Layara Moreira Calixto ^[a] 

Vitória, ES, Brasil

^[a] Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Tânia Galavote ^[a] 

Vitória, ES, Brasil

^[a] Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Gisele de Lorena Diniz Chaves ^[b] 

Florianópolis, SC, Brasil

^[b] Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas

Renato Ribeiro Siman ^[a] 

Vitória, ES, Brasil

^[a] Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Departamento de Engenharia Ambiental

LGS é Engenheira de Produção, mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, e-mail: larissagsena@hotmail.com

LMC é Engenheira Ambiental, mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, e-mail: layaramoreira@hotmail.com

TG é Engenheira Ambiental e Sanitária, mestre em Engenharia Ambiental, e-mail: tania.pinto@edu.ufes.br

GLDC é professora, doutora em Engenharia de Produção, e-mail: gisele.chaves@ufsc.br

RRS é professor, doutor em Hidráulica e Saneamento, e-mail: renato.siman@ufes.br

Como citar: Sena, L. G., Calixto, L. M., Galavote, T., Chaves, G. L. D., & Siman, R. R. (2023). Gestão de resíduos domiciliares: Uma análise sistêmica sob a ótica da sustentabilidade financeira de municípios e rendimentos de catadores de materiais recicláveis no Brasil. *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 15, e20220212. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.015.e20220212>

Resumo

Este trabalho buscou identificar e avaliar por meio de dois diagramas de causa e efeito como as variáveis relacionadas às estratégias de ampliação da coleta seletiva e educação ambiental influenciam nos custos de gerenciamento do resíduo domiciliar para as prefeituras municipais e nos rendimentos financeiros das organizações de catadores de materiais recicláveis. Para isso, realizou-se uma ampla revisão da literatura para a coleta de dados secundários. Com relação à sustentabilidade financeira das prefeituras na ampliação dos programas de coleta seletiva, foi possível evidenciar que as despesas com o gerenciamento do resíduo domiciliar são advindas principalmente dos custos com disposição final de rejeitos, coleta convencional e seletiva (influenciada pela modalidade adotada e pelo agente executor). Com relação aos ganhos das organizações de materiais recicláveis, foi possível constatar que incentivos às parcerias, à ampliação da cobertura de coleta seletiva e das estratégias de coleta seletiva que incluam o catador bem como às políticas públicas de educação ambiental influenciam nos rendimentos financeiros dos catadores. Além disso, percebeu-se que nos dois casos a educação ambiental tem papel importante na redução dos rejeitos enviados a aterros sanitários. Esses apontamentos são importantes, pois direcionam ações para favorecerem a sustentabilidade financeira dos municípios e organizações de catadores de materiais recicláveis.

Palavras-chave: Diagrama de causa e efeito. Sustentabilidade financeira. Resíduo domiciliar.

Abstract

This paper sought to identify and evaluate through two cause-and-effect diagrams how the variables related to the strategies for expanding selective collection and environmental education influence in municipality's costs of managing domestic waste and Waste Picker organization's income. For this, a widespread literature research was conducted to collect secondary data. Regarding the municipality's financial sustainability in the expansion of selective collection programs, it is possible to demonstrate that the expenses with the management of the domestic waste are mainly arising from costs with refuse disposal in landfilling, unsorted collection, and selective (influenced by the modality adopted and executing agent). Concerning waste picker organization's earnings, it was feasible to confirm that partnerships incentives, increased selective collection coverage, and techniques for selective collection that include the collector, as well as the environmental education public policies influence the waste pickers revenue. In both instances, environmental education was found to be crucial in lowering the amount of landfilling refuse. These notes are significant because they suggest solutions that can help municipalities and waste picker's organizations maintain their financially sustainable.

Keywords: Cause and effect diagram. Financial sustainability. Household waste.

Introdução

O crescimento populacional e econômico, associados ao aumento dos padrões de consumo, são os principais impulsionadores da crescente geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) (Giannis et al., 2017). Em 2016, cerca de 2,01 bilhões de toneladas de resíduos foram geradas no mundo (Kaza et al., 2018), um aumento de 50% em relação ao gerado no ano de 2013 (Hoornweg et al., 2014). Contudo, este aumento não foi acompanhado de infraestrutura para gerenciar o volume adicional de resíduos e diversificar os serviços, principalmente em países em desenvolvimento (Chaves *et al.*, 2014). Tais aspectos contribuem para o aumento da complexidade e custos da gestão de RSU (Alzamora & Barros, 2020).

No Brasil, por exemplo, mais de 80 milhões de toneladas de resíduos foram geradas em 2021 (SNIS, 2022), comprometendo parte das receitas das prefeituras municipais com seu manejo. A estimativa é que as despesas com manejo de RSU representem em média 4% da despesa corrente total das prefeituras municipais brasileiras (SNIS, 2022), podendo ultrapassar 8% em alguns casos como indicado por Leal & Sampaio (2019). De todas as formas, os grandes gargalos do manejo de RSU para as prefeituras municipais são as etapas de coleta e transporte que podem representar entre 60% e 70% de todo o custo de gerenciamento do RSU (Di Maria & Micale, 2013). Chifari et al. (2017), Rutkowski & Rutkowski (2015) e Di Maria & Micale (2013) mencionam que estes custos são altos devido ao tipo de modalidade implementada e agente executor da coleta. Além disso, Colvero et al. (2020) mencionam a falta de otimização nestas etapas e as deficiências na implementação da hierarquização de gestão de resíduos direcionada a minimização, reutilização e reciclagem.

Nesse sentido, embora a coleta seletiva seja um instrumento de incentivo à reciclagem, devido aos custos e à ausência de mercado para sua valorização, muitos municípios brasileiros ainda não a implementaram de forma universal (quanto à sua abrangência) nas áreas urbanas dos municípios brasileiros (Bringhenti et al., 2019; SNIS, 2022). A coleta seletiva também é afetada pela falta de conscientização e participação da população nos programas, para realizar a segregação e acondicionamento dos resíduos na fonte, bem como disponibilizar o resíduo segregado para coleta (Bernardo & Lima, 2017).

Outro fator crítico para o desenvolvimento da coleta seletiva relaciona-se às adversidades enfrentadas pelas organizações de catadores de materiais recicláveis (OCMR), os quais precisam ser envolvidos nos programas de coleta seletiva (Brasil, 2010). Alguns desses problemas são: dificuldade para monitorar as operações, organizar a gestão de recursos humanos e controlar o material coletado e vendido (Conke, 2018); infraestrutura deficiente com galpões pequenos e estruturalmente precários (Fuss et al., 2021); falta de equipamentos; conhecimento limitado sobre o mercado de reciclagem; necessidade de apoio técnico/financeiro e falta de confiança das empresas nessas organizações (Dutra et al., 2018). Esses fatores, somados à triagem realizada de forma manual e ao alto percentual de rejeitos na coleta seletiva, contribuem para a baixa produtividade e, conseqüentemente, impactam as receitas das OCMR (Fidelis et al., 2020; Siman et al., 2020).

Diante dessa problemática, nota-se que é um desafio para os municípios universalizarem o serviço de coleta seletiva e, simultaneamente, manter a sustentabilidade financeira dos seus serviços, bem como para as OCMR aumentarem seus rendimentos a fim de alcançar sua autossustentabilidade financeira. Portanto, torna-se inicialmente necessário não só identificar como também verificar as relações de causa-efeito entre os principais fatores que proporcionam o aumento da reciclagem no Brasil. Diante disso, são realizados os seguintes questionamentos: Quais variáveis relacionadas às estratégias de coleta seletiva e educação ambiental influenciam nos custos de gerenciamento dos resíduos domiciliares (RDO) para os municípios? E quais as variáveis relativas à coleta seletiva influenciam nos rendimentos financeiros das OCMR? Estes questionamentos objetivam demonstrar a relação de causalidade entre a existência de determinado problema, no caso a sustentabilidade e autossuficiência financeira dos municípios e OCMR respectivamente, e a proposta de solução na forma de política pública correspondente.

Materiais e métodos

Com o intuito de responder aos questionamentos apresentados, duas etapas foram empregadas para levantamento de dados secundários e execução dessa pesquisa. A primeira se consistiu em um levantamento bibliográfico e documental, a fim de identificar as variáveis relacionadas à coleta seletiva e à educação ambiental, que influenciam nos custos do gerenciamento dos RDO em municípios, bem como nos rendimentos financeiros das OCMR. A segunda se constituiu na produção de diagramas de causa-efeito a partir da sistematização dos dados coletados na revisão.

Etapa I: Coleta de dados por revisão da literatura

A revisão sistemática é uma ferramenta importante para condução de uma revisão abrangente da literatura a fim de identificar, avaliar e sintetizar elementos de interesse em uma pesquisa (Grant & Booth, 2009). Diante disso, essa revisão foi empregada para identificação das variáveis relacionadas à coleta seletiva e à educação ambiental que influenciam nos custos do gerenciamento dos RDO em municípios, bem como nos rendimentos financeiros das OCMR, como pode ser visto na Figura 1.



Figura 1 – Passos para realização da revisão sistematizada da literatura. Fonte: Autores (2023).

Após a etapa de definição das perguntas de pesquisa, descritas na introdução, realizou-se a etapa de definição dos termos de busca, conforme eles eram identificados em artigos, livros e documentos relacionados à temática estudada. Os termos foram inseridos nas bases de dados para avaliar a sua relevância, e, por fim, foram selecionados em torno de quatro temáticas: tipologia de resíduo estudada (RSU/RDO), atores envolvidos (prefeituras municipais e OCMR) e os objetos da pesquisa (sustentabilidade financeira dos municípios e autossuficiência das OCMR).

Para a próxima etapa, devido a sua maior relevância para a busca da literatura científica, bem como sua ampla cobertura que possibilita alcançar maior número de artigos (Khudzari et al., 2018), foram escolhidas as bases de dados *Scopus* e *Web of Science*. A busca nas bases de dados ocorreu por meio de duas combinações de termos de busca e utilização de operadores booleanos, além de abranger somente pesquisas dos últimos 5 anos (2017-2022), como descrito na Tabela 1. Cabe salientar ainda que a pesquisa dos termos de busca foi delimitada aos títulos, palavras-chave e resumos. Também foram coletadas informações na base de dados do sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2022).

Tabela 1 – Combinações de termos de busca utilizados.

Combinações	Atores estudados	Tipologia do resíduo	Objeto da pesquisa
1º	municipality; city hall; municipal government; public administration; government; public authority; public management; public service; state administration	municipal solid waste; municipal waste; urban waste; domestic waste; household waste; packaging waste;	financial sustainability; environmental economics; sustainable solid waste management; financial stability; financially viable; financial viability; financial independence; financial

Combinações	Atores estudados	Tipologia do resíduo	Objeto da pesquisa
2º	waste picker; waste worker; waste collector; scavenger; reclaimers	recyclable waste; recyclable materials	self-sufficiency; financially sustainable; economic efficiency; economic performance; economic viability

Combinações: combinações de termos de busca utilizados nas bases de dados. Atores estudados: termos de busca relacionados aos atores envolvidos no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. Tipologia do resíduo: termos de busca relativos aos tipos de resíduos segundo sua origem. Objeto de pesquisa: termos de busca relacionados a sustentabilidade financeira. Fonte: Autores (2023).

Posteriormente à etapa de pesquisa nas bases de dados, realizou-se a filtragem dos artigos para eliminação de duplicidade e dos artigos cujo título, resumo, palavras-chave não condiziam com o tema pesquisado. Em seguida, os artigos obtidos após a filtragem foram lidos integralmente para verificar sua compatibilidade com os questionamentos levantados anteriormente. Portanto, foram considerados somente artigos que possibilitassem identificar as variáveis relacionadas à coleta seletiva e à educação ambiental que influenciam nos custos do gerenciamento dos RDO em municípios, bem como nos rendimentos financeiros das OCMR.

Etapa II: Descrição das relações de causa-efeito

A partir da etapa de coleta de dados secundários foi possível identificar e correlacionar as variáveis relacionadas às estratégias de coleta seletiva e de educação ambiental que influenciam os custos de gerenciamento dos RDO para as prefeituras municipais. Em relação às estratégias de coleta seletiva, buscou-se identificar a influência das modalidades, agentes executores e da ampliação da cobertura de coleta seletiva nos custos para os municípios. Para mais, a revisão também proporcionou a identificação das casualidades entre as estratégias de coleta seletiva, políticas educativas e o incentivo a parcerias com geradores particulares no rendimento das OCMR.

Para representação das interrelações entre as variáveis identificadas foram confeccionados dois diagramas de causa e efeito (DCE) utilizando o software Vensim PLE® (Ventana Systems, 2021). O primeiro diz respeito a interrelações entre as variáveis relacionadas às estratégias de coleta seletiva e de educação ambiental que influenciam os custos de gerenciamento dos RDO para as prefeituras municipais. Já o segundo DCE, representa as interrelações entre as estratégias de coleta seletiva, políticas educativas e o incentivo a parcerias com geradores particulares no rendimento das OCMR. Cabe salientar ainda que nos DCE's as variáveis representadas pela cor verde são as variáveis de interesse (custo do gerenciamento de resíduos para as prefeituras municipais e o rendimento dos catadores), em vermelho são variáveis políticas, e as representadas em azul são aspectos operacionais que influenciam direta ou indiretamente nos custos dos municípios, ou rendimentos das OCMR.

O DCE ou diagrama causal é uma ferramenta utilizada para descrever uma situação-problema, evidenciando de forma qualitativa as relações de causa e efeito entre as variáveis (Sterman, 2000). Essa ferramenta permite que os modeladores generalizem os dados relacionados ao fenômeno sob investigação (Fan et al., 2018), sendo constituído por palavras, links, loops e delays (Morecroft, 2015). Os links são representados por setas indicando a relação causal entre as variáveis e recebem uma polaridade, negativa (-) ou positiva (+), que estabelece como a variável dependente muda com a alteração da variável independente (Sterman, 2000). Assim, pode-se dizer que ligações positivas representam relações diretamente proporcionais, ao passo que as ligações negativas denotam relações inversamente proporcionais (Morecroft, 2015).

Já os loops podem ser positivos ou negativos, evidenciados por um identificador de loop que circula na mesma direção do ciclo e mostra um identificador "R" (loop de reforço) no caso positivo e "B" (loop de balanço) no caso negativo (Sterman, 2000). No loop negativo, o seu efeito é neutralizar o sistema, ou seja, há tendência de estabilidade/equilíbrio, enquanto no loop positivo tendem ao crescimento ou decréscimo, ou seja, ocorre uma

amplificação ou reforço da condição inicial (Morecroft, 2015). Já os delays são retardos que fazem com que uma ação produza efeitos não imediatos, mas diferentes no tempo e no espaço (Forrester, 1968). Essas estruturas são críticas e responsáveis por grande parte dos sistemas complexos, pois geram comportamentos inesperados como oscilações e amplificações (Sterman, 2000).

Resultados e discussão

Nesta seção são apresentadas as relações de causalidade entre as variáveis identificadas e os aspectos financeiros dos municípios e OCMR. A pesquisa sistematizada da literatura apontou que o custo total de gerenciamento do RDO é influenciado pelos custos de disposição final, da coleta convencional e da coleta seletiva. Já os rendimentos dos catadores são influenciados pelo lucro da OCMR e pelo número de trabalhadores. Entretanto, o lucro sofre influência de uma série de fatores como o percentual de rejeitos no RDO, a triagem e a produtividade nas OCMR, dentre outros fatores.

Variáveis que influenciam nos custos do gerenciamento dos RDO em municípios

O DCE que representa as causalidades entre o custo total das prefeituras municipais com o gerenciamento do RDO, estratégias de coleta seletiva, política de educação ambiental e de ampliação da coleta seletiva é apresentado na Figura 2.

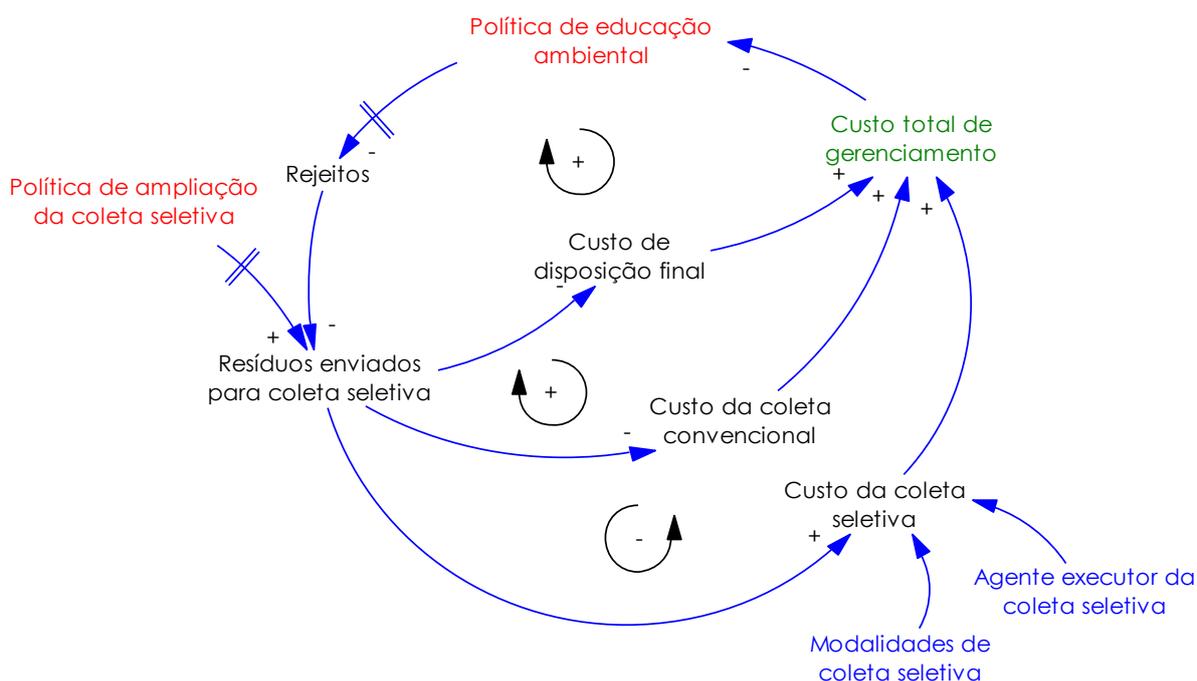


Figura 2 - DCE da influência das variáveis nos custos de gerenciamento dos RSU em municípios. Fonte: Autores (2023).

O custo total de gerenciamento de RDO é influenciado diretamente por três variáveis: custo de disposição final, custo de coleta convencional e custo de coleta seletiva. Além disso, o DCE possui três ciclos, um ciclo negativo (balanceamento) e dois ciclos positivos (reforço). O ciclo de balanceamento é representado pela relação entre as variáveis: quantidade de resíduos enviados para coleta seletiva, custo da coleta seletiva, custo total de gerenciamento, política de educação ambiental e rejeitos. A quantidade de resíduos enviados para coleta seletiva

possui relação diretamente proporcional ao custo da coleta seletiva, ou seja, aumenta-se a quantidade de RDO coletados seletivamente aumenta-se também os gastos com a coleta seletiva (Zon et al., 2020). Um estudo desenvolvido por Maalouf et al. (2020), por exemplo, indicou que um aumento de 55% nos resíduos enviados para coleta seletiva poderia gerar um aumento de 44% nos custos. Além disso, a modalidade de coleta seletiva utilizada, bem como o tipo de agente executor da coleta seletiva também influenciam nos custos da coleta seletiva.

Com relação às modalidades de coleta seletiva, a porta-a-porta geralmente apresenta maior custo, devido principalmente às maiores distâncias e, conseqüentemente, maior consumo de combustível, além da maior demanda de caminhões e mão-de-obra (Di Maria & Micale, 2013). Em contrapartida, a coleta seletiva pela modalidade de pontos de entrega voluntária (PEV) apresenta menor custo logístico, visto que há diminuição de trajeto e acúmulo de carga (Besen et al., 2017). No que diz respeito aos agentes executores da coleta seletiva, os custos são menores quando a coleta seletiva é realizada por empresas terceirizadas em comparação a realizada pela prefeitura devido ao custo de mão de obra (Chifari et al., 2017). Esse custo pode ainda ser mais reduzido quando as OCMR são responsáveis pela coleta seletiva (Rutkowski & Rutkowski, 2015).

A título de exemplo, a Tabela 2 apresenta os valores mínimo, máximo, médio e desvio padrão do custo unitário da coleta seletiva nas modalidades porta-a-porta e PEV, bem como para os diferentes agentes executores como prefeituras, empresas terceirizadas e OCMR. Esses valores foram calculados com base nos custos da coleta seletivas de municípios do Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais, estados que compõem a região Sudeste.

Tabela 2 – Comparação entre os custos unitários da coleta seletiva na Região Sudeste.

Modalidade	Agente executor	Custo unitário da coleta seletiva (R\$.t ⁻¹)			
		Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Porta-a-porta	Prefeitura	1.226,80	282,64	779,64	474,05
	Terceirizado	1.000,00	283,00	574,89	241,31
	OCMR	1.000,00	100,00	433,01	245,36
PEV	Prefeitura	1.526,92	165,80	546,01	473,83
	Terceirizado	880,00	100,00	373,54	307,73
	Prefeitura	731,44	83,88	326,83	289,28
Mista	Terceirizado	1.000,00	101,00	602,65	335,72
	OCMR	1.000,00	101,00	602,65	335,72

Fonte: Elaborado a partir de SNIS (2022). PEV: Pontos de Entrega Voluntária. OCMR: Organizações de Catadores de Materiais Recicláveis.

Ainda conforme Figura 2, o custo da coleta seletiva é proporcional ao custo total de gerenciamento do RDO, ou seja, o aumento dos custos de coleta seletiva exerce também uma pressão nos custos de gerenciamento do RDO. Este, por sua vez, possui uma relação inversamente proporcional ao investimento em políticas de educação ambiental, visto que os gastos municipais estão concentrados nos serviços de coleta, transporte e disposição final (Silva, 2018). Colvero et al. (2020) e Franca et al. (2019) indicam que os custos operacionais de coleta e transporte representam entre 60% e 95% do custo total com gerenciamento do RDO pelos municípios.

Contudo, investimentos em educação ambiental acarretam um aumento da reciclagem, pois a participação da população nos programas de coleta seletiva aumenta, assim como a conscientização sobre como separar corretamente os resíduos na fonte (Struk, 2017). Tais aspectos favorecem a redução de rejeitos, aumentando a quantidade e qualidade dos resíduos secos recicláveis desviados para reciclagem (Silva, 2018). A título de exemplo, um estudo realizado por Sidique et al. (2010), nos Estados Unidos, indicou que cada 1 US\$.pessoa⁻¹ gasto anualmente

com educação ambiental pode aumentar a reciclagem em aproximadamente 2%. No município de Curitiba (Brasil), um investimento adicional em política de educação ambiental aumentou a taxa de reciclagem em 12% do total de resíduos coletados (Silva, 2018). Entretanto, cabe salientar que a redução dos rejeitos devido a influência da educação ambiental não ocorre de forma instantânea (Pickering et al., 2020; Wang et al., 2020). Esses processos trazem consigo atrasos consideráveis para que os efeitos das políticas de educação ambiental sejam verificados em resultados de gestão (Xu et al., 2018), representando um delay no DCE.

Para mais, o aumento da quantidade de resíduos reciclados implica em menores volumes enviados para aterro sanitário, o que conseqüentemente reduz os custos da coleta convencional e da disposição em aterro sanitário (Zhang et al., 2019; Zon et al., 2020). Além disso, a redução da quantidade de resíduos enviados para aterro sanitário prolonga a sua vida útil, e este aspecto é favorável em locais onde as áreas são escassas e/ou onerosas (Hutrinindo et al., 2018). Por outro lado, a quantidade de resíduos enviada para coleta seletiva é influenciada principalmente por políticas de universalização da coleta seletiva local. Verificam-se que quanto maior for a cobertura da coleta seletiva, mais eficaz pode se tornar a atividade de reciclagem (D’Onza et al., 2016). Dutra et al. (2018) e Simonetto & Löbler (2014), por exemplo, constataram que um aumento de 35% na cobertura da coleta seletiva poderia acarretar um aumento de 233% e 153% na quantidade de resíduos sólidos recicláveis que seriam encaminhados para a triagem, respectivamente.

Assim como representado na Figura 2, a quantidade de resíduos enviados para a coleta seletiva possui relação diretamente proporcional ao custo de coleta seletiva e relação inversamente proporcional aos custos de coleta convencional e custos de disposição final. Todos esses custos possuem relação diretamente proporcional ao custo total de gerenciamento. Logo, os ciclos de reforço são representados pela relação entre as variáveis resíduos enviados para coleta seletiva, custo de coleta convencional ou custo de disposição final, custo total de gerenciamento, políticas de educação ambiental e rejeitos.

Variáveis que influenciam nos rendimentos financeiros das OCMR

A Figura 3 apresenta o DCE que representa as causalidades entre as estratégias de coleta seletiva, políticas educativas e o incentivo a parcerias com geradores particulares no rendimento das OCMR.

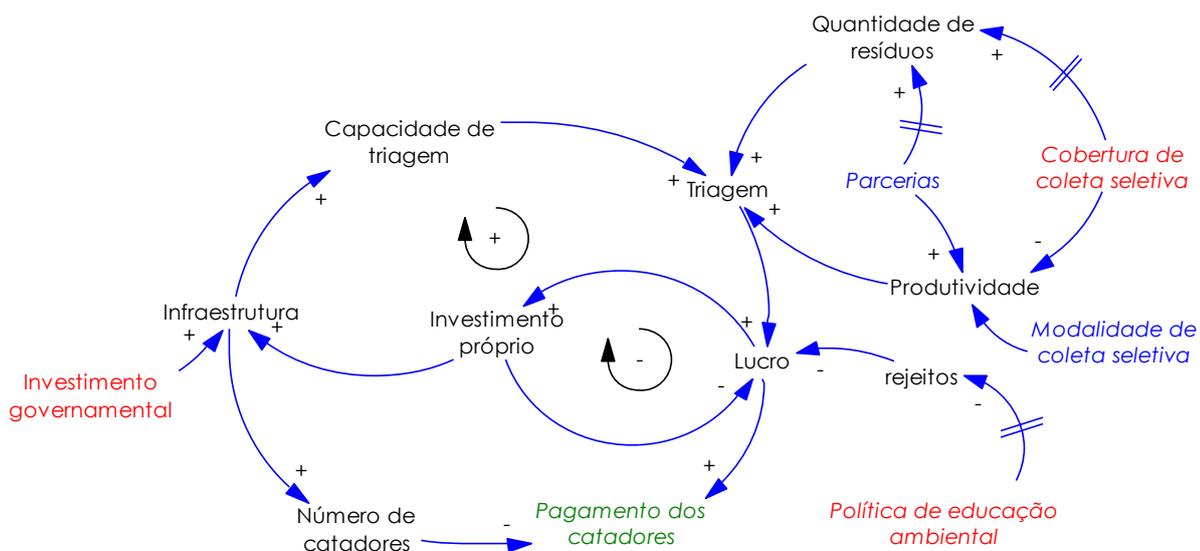


Figura 3 – DCE da influência das variáveis nos rendimentos das OCMR. Fonte: Autores (2023).

A quantidade de resíduos enviados para a triagem é influenciada de forma positiva pela ampliação das parcerias com geradores particulares e da cobertura da coleta seletiva (Dutra et al., 2018; Struk, 2017). A ampliação da coleta seletiva e das parcerias aumentam o acesso do material reciclável às OCMR e, conseqüentemente, o volume de resíduos recuperados para a comercialização (Dutra et al., 2018; Pinha & Sagawa, 2020). A título de exemplo, Demajorovic et al. (2014) indicaram que uma parceria de um ano com uma empresa fornecedora de vidro culminou em um aumento de 195% (131 para 387 toneladas, anualmente) na quantidade de vidro recebida por uma OCMR.

Em relação à ampliação da coleta seletiva, Pinha & Sagawa (2020) mencionam que, se a cobertura de coleta seletiva aumentasse cerca de 10%, as receitas das OCMR em Araraquara aumentariam 70%. Da mesma forma, Dutra et al. (2018) indicaram um aumento de 800% nas receitas das OCMR caso todos os materiais recicláveis que são atualmente dispostos em aterro sanitário no estado do Espírito Santo fossem encaminhados para as OCMR. Portanto, essas estratégias aumentam a quantidade de RDO coletada seletivamente e, por conseguinte, o volume de resíduos a serem triados, incrementando os rendimentos das OCMR beneficiadas (Ghisolfi et al., 2017).

A variável triagem também é influenciada de forma proporcional pela produtividade, definida como a quantidade de resíduos triados por cada catador por unidade de tempo. Já a produtividade sofre influência das parcerias com geradores particulares, bem como da modalidade e abrangência da coleta seletiva (Besen et al., 2017; Struk, 2017). Os resíduos oriundos de parcerias apresentam maior homogeneidade, ou seja, maior percentual de resíduos como papel e plástico e menor percentual de rejeitos se comparado às fontes domiciliares (Almeida et al., 2017). Tal aspecto aumenta a produtividade das OCMR, porque grande parte dos resíduos triados podem ser comercializados e não há grandes percentuais de perdas. Almeida et al. (2017) e Andrade et al. (2020), por exemplo, mencionam que resíduos advindos de parcerias contém em torno de 5% de rejeitos apenas, enquanto os oriundos dos programas de coleta seletiva domiciliar apresentam índice de rejeito de até 40%.

A modalidade de coleta seletiva, bem como sua abrangência também influenciam no percentual de rejeitos e conseqüentemente na produtividade das OCMR. Bertanza et al. (2018), por exemplo, mencionam que a modalidade porta-a-porta apresenta até 73% menos rejeito em comparação ao PEV. Isso deve-se provavelmente ao fator conveniência, uma vez que requer menor esforço por parte do gerador devido à menor distância do local de separação dos resíduos (Struk, 2017; Wang et al., 2020). Ferronato et al. (2021) corroboram dizendo que a distância dos moradores até o ponto de coleta não deve ser maior que 250 m. Nesse sentido, a abrangência da modalidade PEV é superior comparada a porta-a-porta, uma vez que, o raio de ação do equipamento (local de entrega pré-determinado) é muito maior (Oliveira et al., 2018). Esse aspecto também pode interferir no fator conveniência e, portanto, na qualidade do resíduo coletado seletivamente.

Conforme demonstrado na Figura 3, o resultado financeiro das OCMR é diretamente influenciado pela triagem, pois é o processo de agregação de valor aos resíduos para posterior comercialização (Siman et al., 2020; Zon et al., 2020). Entretanto, a presença de rejeitos diminui a lucratividade da atividade, pois estes serão triados, tomando tempo e esforço dos catadores, mas não serão comercializados finalmente (Rada et al., 2018; Xue et al., 2019). Os rejeitos dificultam a etapa de separação e contaminam outros materiais, reduzindo o potencial de reciclagem e causando a desvalorização de até 37% dos resíduos (Pinha & Sagawa, 2020; Xue et al., 2019). Nesse sentido, como já mencionado, a implementação de políticas de educação ambiental influencia reduzindo (a longo prazo) os rejeitos e aumentando os lucros.

O lucro das OCMR influencia de forma diretamente proporcional os investimentos próprios em infraestrutura, ou seja, quanto menor o lucro, menos capital de giro esses agentes dispõem para investir em infraestrutura (Dutra et al., 2018). Entretanto, esse investimento próprio provém do lucro obtido com a comercialização, ou seja, quanto mais recursos próprios a associação investe, menor será o lucro líquido. Aqui é observado um ciclo negativo. Esse investimento em infraestrutura também pode ser subsidiado pelo governo mediante investimentos externos (Hernandez & Hernandez, 2018; Pinha & Sagawa, 2020; Siman et al., 2020). Lima &

Mancini (2017) indicaram que investimentos na infraestrutura das OCMR em Sorocaba aplicados pelo setor público e privado aumentaram a renda do catador em mais de 200%, de 379,48 R\$.mês⁻¹ para 1.149,18 R\$.mês⁻¹.

Contudo, a ausência de infraestrutura é um fator limitante para a operacionalização da triagem e para a geração de receitas (Dutra et al., 2018; Gutberlet, 2015), pois impede o armazenamento de materiais em quantidades suficientes para comercializá-los diretamente para a indústria. Isso faz com que as OCMR comercializem o material a preços menores para agentes intermediários, ou atravessadores (Siman et al., 2020; Zon et al., 2020). Kumar et al. (2018) apontam que, na Índia, os intermediários recebem valores até 16% maiores que os catadores na venda de plástico, pois conseguem armazenar volumes maiores de resíduos. Portanto, a melhoria da infraestrutura aumenta a capacidade de triagem das OCMR, que por sua vez aumenta a triagem dos resíduos e os lucros. Assim, um ciclo de feedback positivo é fechado.

Por fim, o aumento da infraestrutura também leva a necessidade de aumentar os recursos humanos, aqui representado pelo número de catadores (Dutra et al., 2018; Pinha & Sagawa, 2020). Uma vez que o pagamento de catadores é calculado dividindo o lucro pelo número de catadores, existe uma relação diretamente proporcional entre “pagamento dos catadores” e “lucro” e inversamente proporcional entre “pagamento dos catadores” e “número de catadores”. A título de exemplo, Dantas et al. (2017) identificaram rendimentos mensais menores que o salário mínimo da época, entre 300,00 R\$.catador⁻¹ e 500,00 R\$.catador⁻¹, em uma associação do Rio Grande do Norte, valor esse recebido após dedução de custos operacionais. O mesmo cenário foi observado por Zon et al. (2020) e Dutra et al. (2018) no estado do Espírito Santo. Entretanto, Fidelis & Colmenero (2018) identificaram OCMR's que possuíam renda superior ao salário mínimo (1.000,00 R\$.catador⁻¹) no estado do Paraná.

Políticas Públicas para ampliação da coleta seletiva e sustentabilidade financeira das OCMRR

A ampliação da cobertura de coleta seletiva deve ser estimulada nos municípios brasileiros, pois proporciona aumento nas taxas de reciclagem e das receitas das OCMR. Em função disso, devem ser inseridas nos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) metas claras de sua ampliação. Além disso, aspectos operacionais devem ser observados para que essas iniciativas tenham o resultado esperado. Por exemplo, equipamentos adequados devem ser disponibilizados para manter a qualidade dos resíduos, facilitar o acesso ao serviço e contribuir para maior adesão da população (Babazadeh et al., 2018; Xu et al., 2018).

Nesse contexto, a utilização de caminhões compactadores deve ser evitada para obter resíduos de melhor qualidade e evitar altas taxas de rejeitos (Conke, 2018). É importante também informar a população sobre dias, horários e frequências da coleta seletiva, que deve ser adequada de modo que não favoreça transbordamentos e a contaminação dos resíduos recicláveis por rejeitos (Rutkowski & Rutkowski, 2015). No caso da modalidade PEV, os pontos devem ser espaçados de forma que favoreça o descarte por parte do gerador, como mencionado por Sidique et al. (2010).

O município deve escolher a melhor estratégia de coleta seletiva a ser implementada considerando diversos aspectos, dentre eles a escolha da modalidade e do agente executor responsável pela coleta. Na modalidade PEV, por exemplo, os próprios geradores deslocam-se até um ponto e/ou local estratégico de entrega e depositam o material reciclável em contêineres instalados em diversos pontos das cidades (Struk, 2017). Devido a isso, minimiza-se o custo logístico e facilita o carregamento dos veículos, pois os materiais ficam concentrados em pontos estratégicos (Besen et al., 2017). Em contrapartida, depende da mobilização da população e demanda rigor no transbordo dos PEV's para evitar que os contêineres extravasem (Besen et al., 2017).

Na modalidade porta-a-porta, os veículos apropriados recolhem os resíduos recicláveis nos logradouros públicos ou ainda na fonte geradora. Esse sistema traz maior comodidade à população e garante maior cobertura da coleta (Sidique et al., 2010). Entretanto, possui um custo logístico elevado em função da necessidade do aumento da frota de caminhões e maior consumo de combustíveis e materiais (Besen et al., 2017; Di Maria & Micale, 2013). Assim,

a modalidade mista pode ser uma boa alternativa para os municípios. Na Espanha, por exemplo, Gallardo et al. (2012) estudou vários sistemas de coleta seletiva e concluiu que o sistema que alcançou melhor eficiência, inclusive com relação à separação de resíduos orgânicos, foi a combinação dos sistemas porta a porta (resíduos misto, orgânicos e multiprodutos) e PEVs (com coleta separada de vidro).

Quanto ao agente executor, os municípios podem optar pelas OCMR de modo a reduzir custos. Ferronato et al. (2021) menciona que as OCMR podem reduzir cerca de 10% dos custos da coleta seletiva, bem como propiciar o aumento no índice de reciclagem em cerca de 3,5%. Além disso, a inserção das OCMR contribui para a conscientização da população, sendo fundamental para a comercialização de materiais ao nível regional e nacional (Rutkowski & Rutkowski, 2015). Os custos também podem ser reduzidos por meio de otimização de rotas. Bernardo & Lima (2017) utilizaram tecnologia SIG para otimização de rotas da coleta seletiva. Conforme os autores, com a realização do projeto de implantação, foi possível melhorar a eficiência da cooperativa, do serviço de coleta seletiva e dos trabalhadores. Dessa forma, toda a população da cidade passou a ser atendida pelo serviço de coleta seletiva e a OCMR se tornou autossustentável financeiramente.

As parcerias com geradores particulares também são um fator importante para aumentar as receitas das OCMR. Nesse contexto, instrumentos legais que vinculem ou incentivem parcerias com grandes geradores devem ser implementados (Van Zeeland, 2013). Um exemplo recente de política pública de incentivo às parcerias é o acordo setorial de embalagens em geral assinado em 2015, que prioriza a destinação desses materiais para as OCMR (Brasil, 2015). Através desse instrumento político, 802 OCMR's foram beneficiadas, gerando também um aumento de 27% na recuperação de embalagens (SNIS, 2022). Segundo Bringhenti et al. (2019), a administração municipal pode contribuir com algumas ações para fortalecer as parcerias entre OCMR e geradores particulares (condomínios e escolas). Dentre elas, fornecer coletores para acondicionamento em atendimento a pedidos voluntários, realizar a coleta sem custo adicional e fornecer material instrutivo para realização de ações educativas pelos beneficiários.

As ações educativas devem disponibilizar informações sobre a separação dos resíduos de forma clara (onde, como, o quê etc.) (Ma et al., 2020). Wang et al. (2019) indicaram que informações de baixa qualidade impactam negativamente na intenção de separação por parte da população. Um estudo realizado por Conke, (2018) na cidade de Brasília, indicou que 70% dos resíduos foram separados indevidamente na fonte, resultando em perdas da ordem de U\$ 396 milhões anualmente. As ações também devem estar voltadas para educar as pessoas sobre problemas de gestão de resíduos e para disseminar informações que motivarão a população a agir para resolver esses problemas (Matiuk & Liobikienė, 2021). Nesses casos, as intervenções podem ocorrer por meio de campanhas de conscientização, treinamentos práticos (Heydari et al., 2021), publicidade de informações, concursos de conhecimento e palestras para a comunidade (Wang et al., 2019). Canais como Internet, televisão, rádio, jornais e slogans publicitários, micro blogs e WeChat também podem ser utilizados (Meng et al., 2019; Wang et al., 2019).

Além dos aspectos já mencionados, outros devem ser observados para incentivar o aumento da taxa de reciclagem, ao passo que mantém a sustentabilidade e autossuficiência financeira dos municípios e OCMR. Almeida et al. (2017) mencionam que existe a necessidade de criação de novas normas ambientais, bem como a necessidade de atualização/revisão das políticas urbanas municipais. Nesse contexto, os PMGIRS devem ser elaborados ou atualizados, assim como suas respectivas metas de reciclagem, abrangência da coleta seletiva, entre outras. Conke (2018) menciona a necessidade de melhorias na qualidade de dados e na efetividade na fiscalização. Um estudo realizado por Seacat & Boileau (2018) nas cidades de Massachusetts, indicou que as penalidades não tiveram impacto significativo, uma vez que eram demoradas ou não eram aplicadas regularmente, assim os usuários não cumpriam as exigências. Por fim, é necessário que as prefeituras municipais tenham recursos humanos capacitados para planejamento, implementação, gestão e supervisão dos requisitos legais para a universalização da coleta seletiva, com reflexos na rentabilidade desta para os catadores de materiais recicláveis (Cetrulo et al., 2018).

Conclusões

Este estudo identificou e relacionou as variáveis relacionadas às estratégias de coleta seletiva e educação ambiental que influenciam nos custos de gerenciamento do RDO para as prefeituras municipais, bem como nos rendimentos financeiros das OCMR. Para isso, realizou-se uma revisão abrangente da literatura para identificar e correlacionar as variáveis. A partir disso, foi possível representar as interrelações por meio de dois diagramas de causa e efeito.

O diagrama de causa e efeito expôs a influência de políticas públicas de coleta seletiva e de educação ambiental na quantidade de resíduos recicláveis enviados para coleta seletiva que, por sua vez, influenciam diretamente nos custos de disposição final, coleta convencional e coleta seletiva, os quais sofrem influência das modalidades e agentes executores da atividade. Esses custos compõem o custo total de gerenciamento de RDO da prefeitura municipal. Já as políticas públicas de educação ambiental, incentivo às parcerias, ampliação da cobertura de coleta seletiva e as estratégias de coleta seletiva influenciam nos rendimentos financeiros dos catadores.

Esses apontamentos são importantes, pois direcionam os tomadores de decisão no gerenciamento do RDO, visando a sustentabilidade financeira dos municípios e o aumento dos rendimentos das OCMR. Dentre as ações, sugere-se a ampliação da coleta seletiva e sua execução por parte das OCMR com o intuito de reduzir custos; incentivos a parcerias entre OCMR e geradores particulares e ações educativas visando o aumento do volume e quantidade dos resíduos coletados seletivamente.

Este trabalho contribui com um modelo mental para descrever qualitativamente uma situação problema e servir de base para confecção de um modelo quantitativo. Contudo, possui ainda algumas limitações. A parcela biodegradável contida no RDO, por exemplo, não foi considerada, assim como outros instrumentos políticos que poderiam incentivar o aumento da quantidade de resíduos enviados para a reciclagem, como taxas/impostos para aterramento, recompensas, taxas de coleta, dentre outros. Portanto, recomenda-se para trabalhos futuros que os diagramas sugeridos sejam utilizados como base para a confecção de um modelo matemático. Isso proporcionaria uma avaliação quantitativa aprofundada, considerando diversos cenários sobre a implementação das políticas sugeridas. Cabe salientar também, que esta pesquisa foi realizada considerando a realidade brasileira, ou seja, o atual sistema de gestão e gerenciamento de RDO no Brasil. Portanto, é aplicável a realidades semelhantes com as devidas adequações e considerações.

Declaração de disponibilidade de dados

O artigo se concentra em contribuições teóricas ou metodológicas e não há bases de dados relacionadas, de forma que foi dispensado o depósito no SciELO DATA conforme política editorial da revista.

Referências

- Almeida, M. de F. G., Figueiredo, P. S., & Dantas, J. (2017). The socioeconomic conditions of waste pickers in Bahia , and na evaluation of a workforce restructuring : a multiple case study. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 11(1), 2–20. [10.24857/rgsa.v11i1.1253](https://doi.org/10.24857/rgsa.v11i1.1253).
- Alzamora, B. R., & Barros, R. T. de V. (2020). Review of municipal waste management charging methods in different countries. *Waste Management*, 115, 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.020>
- Andrade, A. A., Braga, R. M. Q. L., Fernandes, L. L., & Gomes, R. R. K. de A. (2020). Evaluation of recyclable waste management of a waste pickers' association in Belém, Brazil. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Waste and Resource Management*, 173(2), 28–39. <https://doi.org/10.1680/jwarm.18.00014>

- Babazadeh, T., Nadrian, H., Mosaferi, M., & Allahverdi-pour, H. (2018). Identifying Challenges and Barriers to Participating in the Source Separation of Waste Program in Tabriz, Northwest of Iran: A Qualitative Study from the Citizens' Perspective. *Resources*, 7(3), 53. <https://doi.org/10.3390/resources7030053>
- Bernardo, M., & Lima, R. da S. (2017). Planejamento e implantação de um programa de coleta seletiva: utilização de um sistema de informação geográfica na elaboração das rotas. *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 9(supl 1), 385–395. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.009.supl1.a010>
- Bertanza, G., Ziliani, E., & Menoni, L. (2018). Techno-economic performance indicators of municipal solid waste collection strategies. *Waste Management*, 74, 86–97. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.009>
- Besen, G. R., Günther, W. M. R., Ribeiro, H., Jacobi, P. R., & Dias, S. M. (2017). *Gestão da coleta seletiva e de organizações de catadores: indicadores e índices de sustentabilidade* (1st ed.). São Paulo: Fundação Nacional de Saúde. Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. Recuperado em 19 de março, 2022 de <https://www.livrosabertos.sibi.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/view/159/142/699>
- Brasil. (2010). Lei 12.305 Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Recuperado em 09 de março, 2021 de <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>
- Brasil. (2015) Acordo setorial para implantação do sistema de logística reversa de embalagens em geral. Recuperado em 09 de março, 2021 de https://portal-api.sinir.gov.br/wp-content/uploads/2022/05/Acordo_embalagens.pdf
- Bringhenti, J. R., Bassani, P. D., Rabello Laignier, I. T., Dos Santos Braga, F., & Risso Günther, W. M. (2019). Selective collection in residential condominiums in the municipality of Vitória: Operational and social characteristics. *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 11, 1–13. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20170223>
- Cetrulo, T. B., Marques, R. C., Cetrulo, N. M., Pinto, F. S., Moreira, R. M., Mendizábal-Cortés, A. D., & Malheiros, T. F. (2018). Effectiveness of solid waste policies in developing countries: A case study in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 205, 179–187. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.094>
- Chaves, G. L. D., Santos, J. L. dos, & Rocha, S. M. S. (2014). The challenges for solid waste management in accordance with Agenda 21: A Brazilian case review. *Waste Management and Research*, 32, 19–31. <https://doi.org/10.1177/0734242X14541987>
- Chifari, R., Renner, A., Lo Piano, S., Ripa, M., Bukkens, S. G. F., & Giampietro, M. (2017). Development of a municipal solid waste management decision support tool for Naples, Italy. *Journal of Cleaner Production*, 161, 1032–1043. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.074>
- Colvero, D. A., Ramalho, J., Gomes, A. P. D., Matos, M. A. A. de, & Tarelho, L. A. da C. (2020). Economic analysis of a shared municipal solid waste management facility in a metropolitan region. *Waste Management*, 102(August 2014), 823–837. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.11.033>
- Conke, L. S. (2018). Barriers to waste recycling development: Evidence from Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, 134(October 2017), 129–135. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.03.007>

- D'Onza, G., Greco, G., & Allegrini, M. (2016). Full cost accounting in the analysis of separated waste collection efficiency: A methodological proposal. *Journal of Environmental Management*, 167, 59–65. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.09.002>
- Dantas, G. C. B., Forbeloni, J. V., Pacheco, A. S. V., Campelo, I. C., & Farias, H. M. (2017). Percepção de catadores de resíduos de uma associação localizada na região Seridó / RN sobre as condições adversas de trabalho : uma análise do sujeito coletivo. *Reget*, 21(3), 210–221.
- Demajorovic, J., Caires, E. F., Gonçalves, L. N. da S., & Silva, M. J. da C. (2014). Integrando empresas e cooperativas de catadores em fluxos reversos de resíduos sólidos pós-consumo: o caso Vira-Lata TT - Interconnecting companies and waste picker cooperatives in reverse flows of post-consumer solid waste: the "Vira-Lata" case. *Cadernos EBAPE.BR*, 12(spe), 513–532. <https://doi.org/10.1590/1679-39519020>
- Di Maria, F., & Micale, C. (2013). Impact of source segregation intensity of solid waste on fuel consumption and collection costs. *Waste Management*, 33(11), 2170–2176. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2013.06.023>
- Dutra, R. M. S., Yamane, L. H., & Siman, R. R. (2018). Influence of the expansion of the selective collection in the sorting infrastructure of waste pickers' organizations: A case study of 16 Brazilian cities. *Waste Management*, 77(2018), 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.05.009>
- Fan, C., Fan, S. K. S., Wang, C. S., & Tsai, W. P. (2018). Modeling computer recycling in Taiwan using system dynamics. *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 167–175. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.09.006>
- Ferronato, N., Portillo, M. A. G., Lizarazu, G. E. G., & Torretta, V. (2021). Formal and informal waste selective collection in developing megacities: Analysis of residents' involvement in Bolivia. *Waste Management and Research*, 39(1), 108–121. <https://doi.org/10.1177/0734242X20936765>
- Fidelis, R., & Colmenero, J. C. (2018). Evaluating the performance of recycling cooperatives in their operational activities in the recycling chain. *Resources, Conservation and Recycling*, 130 (July), 152–163. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.12.002>
- Fidelis, R., Marco-Ferreira, A., Antunes, L. C., & Komatsu, A. K. (2020). Socio-productive inclusion of scavengers in municipal solid waste management in Brazil: Practices, paradigms and future prospects. *Resources, Conservation and Recycling*, 154(July 2019), 104–154. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104594>
- Forrester, J. W. (1968). Industrial Dynamics - After the First Decade. *Management Science*, 14(7), 398–415. <https://doi.org/10.1287/mnsc.14.7.398>
- Franca, L. S., Ribeiro, G. M., & Chaves, G. de L. D. (2019). The planning of selective collection in a real-life vehicle routing problem: A case in Rio de Janeiro. *Sustainable Cities and Society*, 47, 101–118. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2019.101488>
- Fuss, M., Barros, R. T. V., & Poganietz, W. R. (2021). The role of a socio-integrated recycling system in implementing a circular economy – The case of Belo Horizonte, Brazil. *Waste Management*, 121, 215–225. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2020.12.006>

- Gallardo, A., Bovea, M. D., Mendoza, F. J. C., & Prades, M. (2012). Evolution of sorted waste collection: A case study of Spanish cities. *Waste Management and Research*, 30(8), 859–863. <https://doi.org/10.1177/0734242X12443584>
- Ghisolfi, V., Diniz Chaves, G. de L., Ribeiro Siman, R., & Xavier, L. H. (2017). System dynamics applied to closed loop supply chains of desktops and laptops in Brazil: A perspective for social inclusion of waste pickers. *Waste Management*, 60, 14–31. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.12.018>
- Giannis, A., Chen, M., Yin, K., Tong, H., & Veksha, A. (2017). Application of system dynamics modeling for evaluation of different recycling scenarios in Singapore. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 19(3), 1177–1185. <https://doi.org/10.1007/s10163-016-0503-2>
- Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information and Libraries Journal*, 26(2), 91–108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>
- Gutberlet, J. (2015). Cooperative urban mining in Brazil: Collective practices in selective household waste collection and recycling. *Waste Management*, 45, 22–31. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.023>
- Hernandez, P. N., & Hernandez, N. N. (2018). Unleashing Waste-Pickers' Potential: Supporting Recycling Cooperatives in Santiago de Chile. *World Development*, 101, 293–310. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2017.08.016>
- Heydari, E., Solhi, M., Janani, L., & Farzadkia, M. (2021). Determinants of sustainability in recycling of municipal solid waste: Application of community-based social marketing (CBSM). *Challenges in Sustainability*, 9(1), 16–27. <https://doi.org/10.12924/CIS2021.09010016>
- Hoorweg, D., Bhada-Tata, P., & Kennedy, C. (2014). Peak Waste When Is It Likely to Occur? *Journal of Industrial Ecology*, 19(1), 117–128. <https://doi.org/10.1111/jiec.12165>
- Hutrindo, E., Hardianto, T., & Prawisudha, P. (2018). Impact evaluation of policy strategies on promoting waste to energy technologies using system dynamics modelling (A case study: Bandung city). *AIP Conference Proceedings*, 1984(1), 1–9. <https://doi.org/10.1063/1.5046593>
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Woerden, F. V. (2018). What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050. Washington. World Bank. Recuperado em 08 de março, 2022 de <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/2174>
- Khudzari, J. M., Kurian, J., Tartakovsky, B., & Raghavan, G. S. V. (2018). Bibliometric analysis of global research trends on microbial fuel cells using Scopus database. *Biochemical Engineering Journal*, 136, 51–60. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2018.05.002>
- Kumar, A., Samadder, S. R., Kumar, N., & Singh, C. (2018). Estimation of the generation rate of different types of plastic wastes and possible revenue recovery from informal recycling. *Waste Management*, 79, 781–790. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.08.045>
- Leal, T. L. M., & Sampaio, R. J. (2019). Solid waste management: The case of the sustainable development consortium of alto sertão in Bahia. *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 13, 1–13. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.013.E20180123>

- Lima, N. S. de S., & Mancini, S. D. (2017). Integration of informal recycling sector in Brazil and the case of Sorocaba City. *Waste Management and Research*, 35(7), 721–729. <https://doi.org/10.1177/0734242X17708050>
- Ma, Y., Wang, H., & Kong, R. (2020). The effect of policy instruments on rural households' solid waste separation behavior and the mediation of perceived value using SEM. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(16), 19398–19409. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08410-2>
- Maalouf, A., Di Maria, F., & El-Fadel, M. (2020). Waste Recycling in a Developing Context: Economic Implications of an EU-Separate Collection Scheme. In S. K. Ghosh (Ed.), *Waste Management as Economic Industry Towards Circular Economy* (First edition, p. 105–114). Singapore: Springer.
- Matiuk, Y., & Liobikienė, G. (2021). The impact of informational, social, convenience and financial tools on waste sorting behavior: Assumptions and reflections of the real situation. *Journal of Environmental Management*, 297(July). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113323>
- Meng, X., Tan, X., Wang, Y., Wen, Z., Tao, Y., & Qian, Y. (2019). Investigation on decision-making mechanism of residents' household solid waste classification and recycling behaviors. *Resources, Conservation and Recycling*, 140(June 2018), 224–234. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.09.021>
- Morecroft, J. D. W. (2015). Strategic Modelling and Business Dynamics: A feedback systems approach. In J. W. & S. Ltd (Ed.). *Strategic Modelling and Business Dynamics* (2nd ed.). Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Oliveira, V., Sousa, V., Vaz, J. M., & Dias-Ferreira, C. (2018). Model for the separate collection of packaging waste in Portuguese low-performing recycling regions. *Journal of Environmental Management*, 216, 13–24. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.065>
- Pickering, G. J., Pickering, H. M. G., Northcote, A., & Habermehl, C. (2020). Participation in residential organic waste diversion programs: Motivators and optimizing educational messaging. *Resources, Conservation and Recycling*, 158, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104807>
- Pinha, A. C. H., & Sagawa, J. K. (2020). A system dynamics modelling approach for municipal solid waste management and financial analysis. *Journal of Cleaner Production*, 269, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122350>
- Rada, E. C., Zatelli, C., Cioca, L. I., & Torretta, V. (2018). Selective collection quality index for municipal solid waste management. *Sustainability (Switzerland)*, 10(1), 1–17. <https://doi.org/10.3390/su10010257>
- Rutkowski, J. E., & Rutkowski, E. W. (2015). Expanding worldwide urban solid waste recycling: The Brazilian social technology in waste pickers inclusion. *Waste Management and Research*, 33(12), 1084–1093. <https://doi.org/10.1177/0734242X15607424>
- Seacat, J. D., & Boileau, N. (2018). Demographic and community-level predictors of recycling behavior: A statewide, assessment. *Journal of Environmental Psychology*, 56, 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2018.02.004>
- Sidique, S. F., Joshi, S. V., & Lupi, F. (2010). Factors influencing the rate of recycling: An analysis of Minnesota counties. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(4), 242–249. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.08.006>

- Silva, C. L. (2018). Proposal of a dynamic model to evaluate public policies for the circular economy: Scenarios applied to the municipality of Curitiba. *Waste Management*, 78, 456–466. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.06.007>
- Siman, R. R., Yamane, L. H., Baldam, R. de L., Tackla, J. P., Lessa, S. F. de A., & Britto, P. M. de. (2020). Governance tools: Improving the circular economy through the promotion of the economic sustainability of waste picker organizations. *Waste Management*, 105(2020), 148–169. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.wasman.2020.01.040>
- Simonetto, E. de O., & Löbler, M. L. (2014). Systems dynamics simulations for evaluating scenarios of urban solid waste generation and disposal. *Producao*, 24(1), 212–224. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132013005000034>
- SNIS. (2022). *SNIS - Série Histórica*. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. Recuperado em 21 de agosto, 2022 de <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>
- Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World* (S. Eisenberg (ed.); 1st ed.). Boston: McGraw-Hill.
- Struk, M. (2017). Distance and incentives matter: The separation of recyclable municipal waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 122, 155–162. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.01.023>
- Van Zeeland, A. J. W. M. (2013). Challenges for Sustainability of SSE: The Interaction between Popular Economy, Social Movements and Public Policies – Case Study of the Global Alliance of Waste Pickers. *Potential and Limits of Social and Solidarity Economy*, May, 19.
- Ventana Systems. (2021). *Vensim*. Ventana Systems UK. Recuperado em 09 de março, 2021 de <https://www.ventanasystems.co.uk/services/software/vensim/>
- Wang, S., Wang, J., Yang, S., Li, J., & Zhou, K. (2020). From intention to behavior: Comprehending residents' waste sorting intention and behavior formation process. *Waste Management*, 113, 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.05.031>
- Wang, S., Wang, J., Zhao, S., & Yang, S. (2019). Information publicity and resident's waste separation behavior: An empirical study based on the norm activation model. *Waste Management*, 87, 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.01.038>
- Xu, L., Ling, M., & Wu, Y. (2018). Economic incentive and social influence to overcome household waste separation dilemma: A field intervention study. *Waste Management*, 77, 522–531. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.048>
- Xue, Y., Wen, Z., Bressers, H., & Ai, N. (2019). Can intelligent collection integrate informal sector for urban resource recycling in China? *Journal of Cleaner Production*, 208, 307–315. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.155>
- Zhang, B., Lai, K. hung, Wang, B., & Wang, Z. (2019). From intention to action: How do personal attitudes, facilities accessibility, and government stimulus matter for household waste sorting? *Journal of Environmental Management*, 233(December 2018), 447–458. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.059>

Zon, J. L. N., Jacobsen Leopoldino, C., Yamane, L. H., & Ribeiro Siman, R. (2020). Waste pickers organizations and municipal selective waste collection: Sustainability indicators. *Waste Management*, 118, 219–231. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.08.023>

Editor responsável: Luciene Pimentel da Silva

Recebido: 13 set. 2022

Aprovado: 23 mar. 2023