

UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NA GESTÃO DE RESÍDUO SÓLIDOS URBANOS: UMA ANÁLISE QUANTITATIVA

THAYNÁ CAVALCANTE TAVARES
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI-UFCA

PEDRO LUCAS MARTINS RIBEIRO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI-UFCA

ELIAS PEREIRA LOPES

SÉRGIO LIMA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI-UFCA

DOMENICO CEGLIA

Introdução

A gestão de resíduos sólidos é um tema de crescente preocupação global devido aos desafios ambientais e às mudanças climáticas. A produção de resíduos sólidos urbanos atingiu um total de 2,01 bilhões de toneladas em 2016, conforme relatório do Banco Mundial. Estima-se que esse número aumente para 3,40 bilhões de toneladas até 2050, se medidas adequadas não forem tomadas. A maioria desses resíduos é composta por materiais recicláveis, como papel, papelão, plástico, metal e vidro, variando de 16% em países de baixa renda a cerca de 50% em países de alta renda (KAZA, 2018).

Problema de Pesquisa e Objetivo

Estudos anteriores, como o de Khandelwal et al. (2019), analisaram a aplicabilidade da metodologia da ACV em sistemas municipais de gestão de resíduos sólidos, identificando lacunas na aplicação, como falta de dados precisos, avaliação incompleta do ciclo de vida e pouca consideração dos aspectos sociais. Além disso, a revisão de Campitelli e Schebek (2020) destacou os desafios enfrentados em países com deficiência de dados no setor de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Embora a revisão sistemática recente de Mulya et al. (2022) tenha abrangido avanços significativos na aplicação da ACV.

Fundamentação Teórica

Revisão sistemática.

Metodologia

A fim de encontrar lacunas na literatura, utilizou-se a plataforma Web of Science em conjunto com uma estratégia de busca baseada no método PICO (Population, Intervention, Comparison, Outcome), conforme descrito por Petticrew et al. (2008). Definiu-se inicialmente os termos-chave relacionados ao tema de interesse, aplicando-se operadores booleanos para realizar uma busca precisa. Os resultados obtidos foram filtrados por tipo de documento, visando exclusivamente à seleção de artigos de revisão de literatura. Em seguida, os títulos e resumos dos estudos encontrados foram minuciosamente analisados.

Análise dos Resultados

A partir da análise dos artigos selecionados, foi possível realizar uma síntese dos resultados encontrados em nível mundial no período de 2013 a 2023. Foram identificadas diversas limitações e desafios na aplicação da ACV em diferentes contextos geográficos, tais como a falta de dados confiáveis e precisos, a complexidade dos sistemas de gestão de resíduos, a falta de padronização na metodologia de avaliação, entre outros. Além disso, foram encontradas lacunas de pesquisa em relação ao uso da ACV em diferentes etapas da gestão de RSU, como a coleta, transporte, tratamento e disposição final.

Conclusão

A revisão sistemática da literatura sobre a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) na gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) permitiu uma análise abrangente da situação atual dessa área de pesquisa. Ao longo desta revisão, foram discutidas as tendências e lacunas identificadas, bem como os desafios enfrentados e as oportunidades para o avanço da gestão de RSU com o uso da ACV. Foi observado um crescimento significativo na produção científica sobre ACV na gestão de RSU nos últimos anos, refletindo uma crescente conscientização e preocupação com os impactos ambientais associados à geração e gestão.

Referências Bibliográficas

Alamu, S. O., Wemida, A., Tsegaye, T., & Oguntimein, G. (2021). Sustainability assessment of municipal solid waste in Baltimore USA. *Sustainability (Switzerland)*, 13(4), 1–12. <https://doi.org/10.3390/su13041915> Aldhafeeri, Z. M., & Alhazmi, H. (2022). Sustainability Assessment of Municipal Solid Waste in Riyadh, Saudi Arabia, in the Framework of Circular Economy Transition. *Sustainability (Switzerland)*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/su14095093> Aleisa, E., & Al-Jarallah, R. (2018). A triple bottom line evaluation of solid waste management strategies: a case study for an arid Gulf State, Kuwait

Palavras Chave

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), Reciclagem de resíduos, Sustentabilidade

Agradecimento a órgão de fomento

Funcap Bolsa de Fomento à pesquisa Projeto BP5-0197-00242.01.00/22

UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NA GESTÃO DE RESÍDUO SÓLIDOS URBANOS: UMA ANÁLISE QUANTITATIVA

RESUMO

A avaliação do ciclo de vida (ACV) tem sido empregada como ferramenta para avaliar o impacto ambiental das opções de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (RSU). O presente estudo realiza uma revisão sistemática da literatura sobre ACV na gestão de RSU no período de 2013 até 2023. A partir da análise de artigos criteriosamente selecionados, foram identificadas diversas limitações e desafios na aplicação da ACV em diferentes contextos geográficos, tais como a falta de dados confiáveis e precisos, a complexidade dos sistemas de gestão de resíduos, a falta de padronização na metodologia de avaliação, entre outros. Os resultados desta análise sugerem ainda quatro principais núcleos de investigação presentes na literatura recente: (i) tecnologias e gestão de resíduos, (ii) impactos ambientais e gases de efeito estufa, (iii) economia circular e coleta seletiva, e (iv) sustentabilidade e ecoeficiência. Foram apresentados 7 desafios para futuras pesquisas sobre ACV.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida (ACV); Reciclagem de resíduos; Sustentabilidade; Impacto ambiental; Práticas de sustentabilidade empresarial.

1 INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos é um tema de crescente preocupação global devido aos desafios ambientais e às mudanças climáticas. A produção de resíduos sólidos urbanos atingiu um total de 2,01 bilhões de toneladas em 2016, conforme relatório do Banco Mundial. Estima-se que esse número aumente para 3,40 bilhões de toneladas até 2050, se medidas adequadas não forem tomadas. A maioria desses resíduos é composta por materiais recicláveis, como papel, papelão, plástico, metal e vidro, variando de 16% em países de baixa renda a cerca de 50% em países de alta renda (KAZA, 2018).

Paralelamente, a última edição do relatório do *gap* de emissões das Organizações das Nações Unidas (ONU) destacou a postura inadequada em relação à crise da mudança climática, ressaltando a necessidade de uma transformação abrangente na sociedade. Setores diversos, como indústria, transporte, construção civil e sistema alimentar, devem ser abordados nessa transformação. O sistema alimentar, em particular, é responsável por um terço de todas as emissões de gases de efeito estufa, totalizando 18 Gt CO₂e/ano. Isso inclui atividades como varejo, transporte, consumo e gestão de resíduos sólidos, como embalagens e outros materiais (United Nation Environment Programme, 2022).

O aumento das quantidades de resíduos sólidos urbanos gerou uma grande preocupação com relação à redução, reutilização e minimização dos impactos ambientais associados à sua gestão. Nesse sentido, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) tem sido empregada como uma ferramenta para avaliar o impacto ambiental total das opções de gerenciamento de resíduos municipais, auxiliando no planejamento estratégico e no processo de tomada de decisão (ZHANG *et al.*, 2021).

Estudos anteriores, como o de Khandelwal *et al.* (2019), analisaram a aplicabilidade da metodologia da ACV em sistemas municipais de gestão de resíduos sólidos, identificando lacunas na aplicação, como falta de dados precisos, avaliação incompleta do ciclo de vida e pouca consideração dos aspectos sociais. Além disso, a revisão de Campitelli e Schebek (2020) destacou os desafios enfrentados em países com deficiência de dados no setor de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Embora a revisão sistemática recente de Mulya *et al.* (2022) tenha abrangido avanços significativos na aplicação da ACV no gerenciamento de RSU, ela não incluiu dados mais recentes sobre o tema.

Diante desses questionamentos levantados por revisões anteriores e com o objetivo de preencher as lacunas existentes, esta revisão da literatura se propõe a analisar a situação atual da ACV na gestão de RSU. Destarte, a questão geral que norteou a pesquisa foi: Qual é a situação atual da avaliação do ciclo de vida na gestão de resíduos sólidos urbanos? Além de discutir os principais estudos que aplicaram a avaliação do ciclo de vida nesse contexto, serão abordadas as principais metodologias e ferramentas utilizadas, bem como os desafios e oportunidades para sua aplicação. A revisão também visa fornecer recomendações práticas para futuras pesquisas, a fim de contribuir para o aprimoramento da gestão de resíduos sólidos urbanos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 PONTO DE PARTIDA PARA A REVISÃO SISTEMÁTICA

A fim de encontrar lacunas na literatura, utilizou-se a plataforma Web of Science em conjunto com uma estratégia de busca baseada no método PICO (*Population, Intervention, Comparison, Outcome*), conforme descrito por Petticrew *et al.* (2008). Definiu-se inicialmente os termos-chave relacionados ao tema de interesse, aplicando-se operadores booleanos para realizar uma busca precisa. Os resultados obtidos foram filtrados por tipo de documento, visando exclusivamente à seleção de artigos de revisão de literatura. Em seguida, os títulos e

resumos dos estudos encontrados foram minuciosamente analisados a fim de verificar a relevância, selecionando-se as revisões mais pertinentes. Através da análise dos 18 estudos de revisão identificados, foi possível identificar as lacunas e principais categorias de análise presentes nessa literatura e, com isso, direcionar a pesquisa aqui relatada no sentido de endereçá-las (ver Apêndice A).

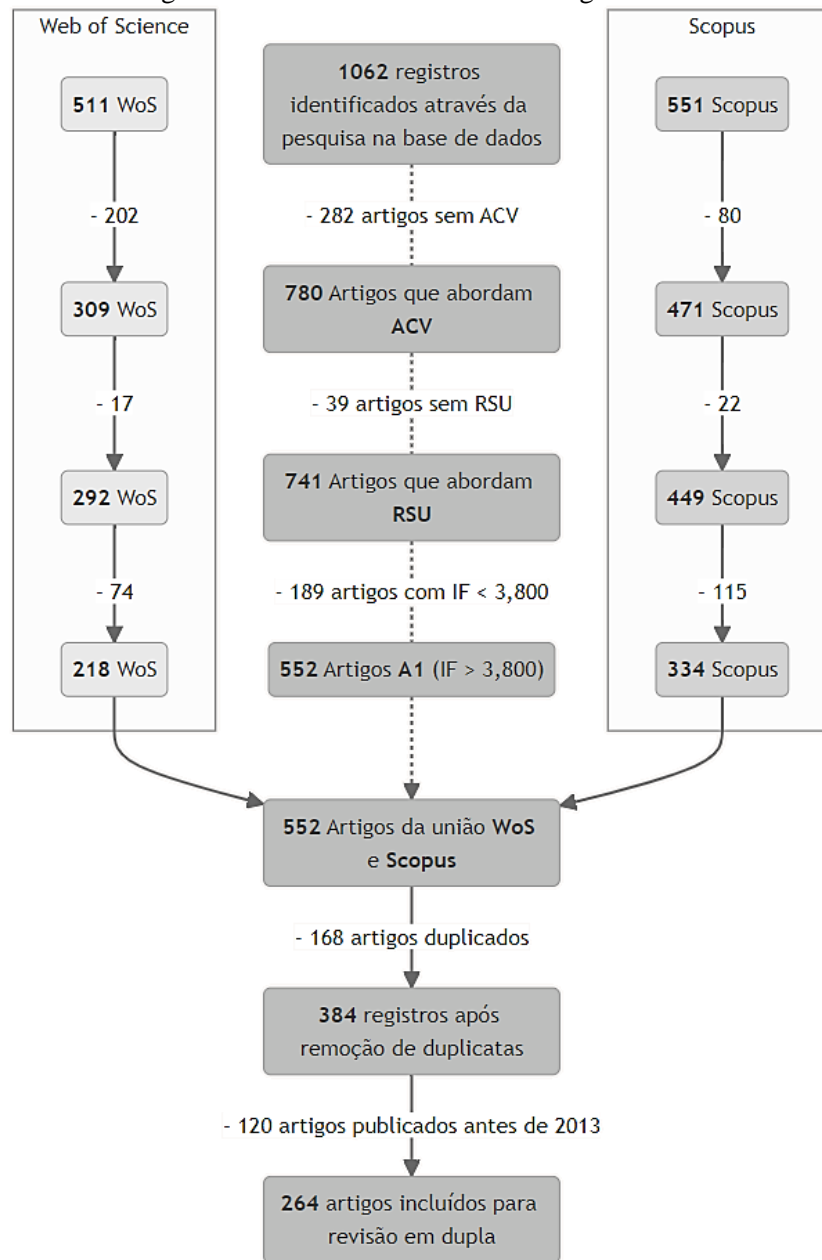
2.2 REVISÃO SISTEMÁTICA PARA ALCANÇAR O OBJETIVO DE PESQUISA

Este capítulo descreve a metodologia adotada para realizar a revisão da literatura sobre a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) na gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Inicialmente, são relatados a abordagem utilizada para identificar os estudos e o procedimento de seleção, discutindo os requisitos de inclusão e as fontes de dados. Em seguida, são descritos os procedimentos de coleta de dados e os padrões de análise aplicados na revisão sistemática.

2.2.1 *Estratégia de busca*

Conforme ilustrado na Figura 1, para a exploração do campo de investigação foram utilizadas as palavras-chave "*Life Cycle Assessment*", "*LCA*", "*Solid Waste Management*" e "*SWM*" e os índices Web of Science e Scopus para realizar a pesquisa de artigos. Foram escolhidas essas duas plataformas porque, conforme Pranckuté (2021), continuam sendo as duas principais e mais abrangentes fontes de metadados de publicação e indicadores de impacto desde a seleção de periódicos e literatura ou rastreamento de carreira pessoal até análises bibliométricas em larga escala e práticas de avaliação de pesquisa em todos os níveis possíveis.

Figura 1 – Critérios de exclusão e triagem inicial



Fonte: elaborado pelos autores.

A estratégia de busca utilizada foi baseada no método PICO (Petticrew *et al.* (2008)), tendo como População (P) os resíduos sólidos urbanos, Intervenção (I) a avaliação do ciclo de vida, e como *Outcome* (O) as limitações, desafios e lacunas de pesquisa na aplicação da ACV na gestão de RSU.

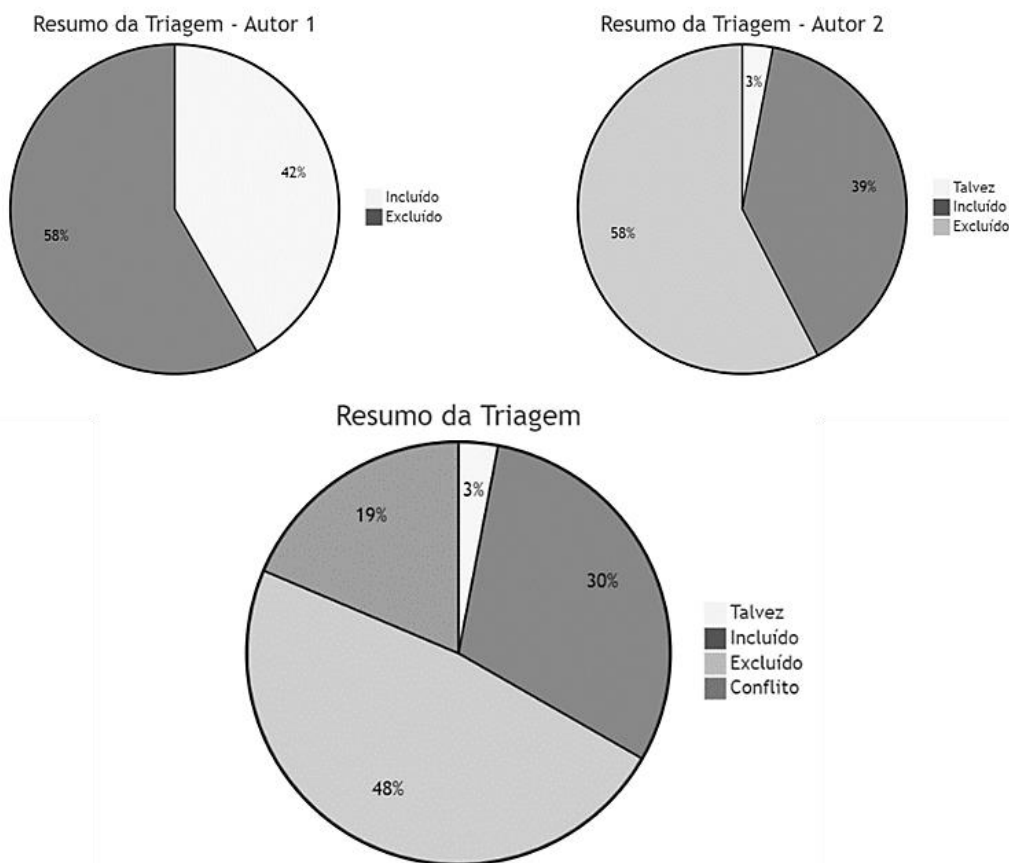
A revisão requer um processo rigoroso de triagem para garantir a inclusão de estudos relevantes e confiáveis na análise. É fundamental que esse processo seja conduzido de forma sistemática e transparente para minimizar a possibilidade de viés de seleção de artigos. Além disso, para aumentar a confiabilidade dos resultados e minimizar erros de inclusão ou exclusão, a triagem foi realizada por pares, com suporte do *software* Rayyan.

2.2.2 Processo de triagem

Para o processo de triagem dos artigos selecionados utilizou-se o *software* Rayyan para fazer uma seleção em duplas com base nos critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos. Tal esforço resultou em 109 artigos selecionados. Foram manualmente retirados da base de análise os estudos que tinham como foco o tratamento de águas residuais, em vez das frações sólidas. À guisa de ilustração, este foi o caso do estudo empreendido por Liu *et al.* (2021), que se concentra na avaliação do ciclo de vida do uso de configurações de tratamento de lodo (sulfidogenic-toxic-settling-anaeróbio) na gestão de lodo de esgoto.

Por fim, foram também excluídos alguns estudos que se concentravam exclusivamente em melhorias metodológicas, sem apresentar um estudo de caso, como no exemplo de Espuny *et al.* (2021), que pretendeu identificar o estado atual e as lacunas científicas na gestão de resíduos sólidos, sem aplicação ou estudos de caso, e apresentando apenas ideias genéricas de possíveis aplicações. O processo de revisão por pares resultou em 19% de conflitos conforme a Figura 2.

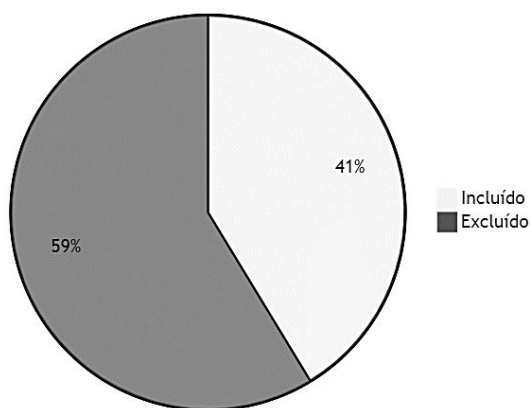
Figura 2 – Divergências entre autores no processo de seleção de artigos para análise



Fonte: elaborado pelos autores.

Para solucionar as divergências, dois dos autores se reuniram para discutir suas respectivas posições e tentar chegar a um consenso, apresentando argumentos e exemplos para apoiar suas opiniões. Esse processo de validação e busca de consenso contribuiu para o rigor da pesquisa no tocante ao método de seleção dos trabalhos. O texto original de cada trabalho divergente foi revisado para embasar as opiniões de maneira coerente, garantindo que o escopo final de análise fosse suficientemente abrangente e preciso conforme a Figura 3.

Figura 3 – Resumo final da triagem – Autores 1 e 2



Fonte: elaborado pelos autores.

2.2.3 Extração e análise de dados

Os dados extraídos dos artigos selecionados incluíram informações sobre o título do artigo, sua localização, objetivo da pesquisa, resultados encontrados e recomendações para futuras pesquisas. Esses dados foram coletados e organizados em uma planilha eletrônica. A análise dos dados foi realizada de forma descritiva, categorizando as informações de acordo com as diferentes variáveis.

Os 109 estudos listados no Quadro B1 (ver Apêndice B) foram analisados de acordo com as seguintes questões, agrupadas em três tópicos: Tópico 1: Países investigados. Tópico 2: Objetivos da pesquisa. Tópico 3: Resultados da avaliação. A partir da análise dos dados, foi possível identificar padrões e tendências, bem como estabelecer conclusões e recomendações relevantes para o avanço da área de pesquisa em gestão de resíduos sólidos urbanos com a utilização da ACV.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

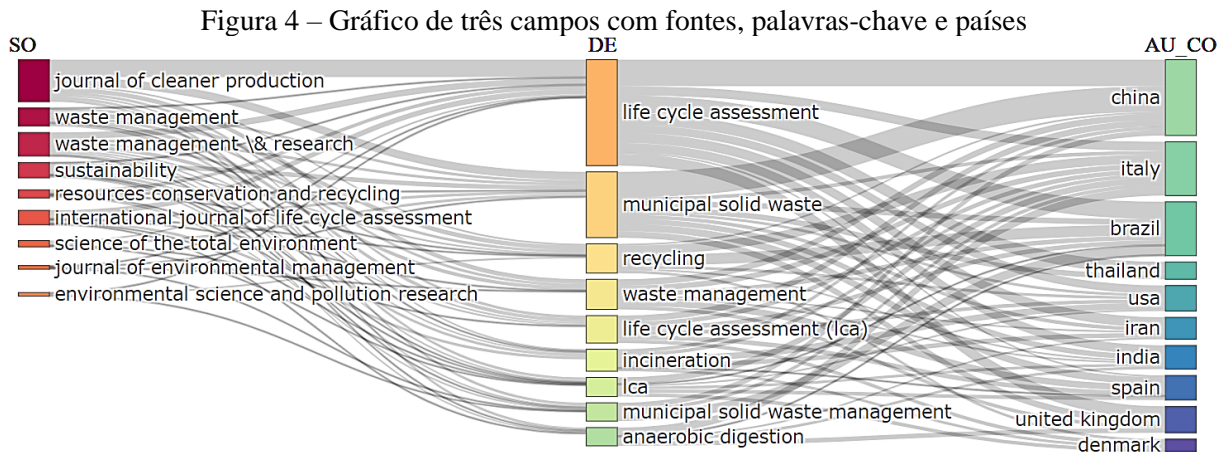
A partir da análise dos artigos selecionados, foi possível realizar uma síntese dos resultados encontrados em nível mundial no período de 2013 a 2023. Foram identificadas diversas limitações e desafios na aplicação da ACV em diferentes contextos geográficos, tais como a falta de dados confiáveis e precisos, a complexidade dos sistemas de gestão de resíduos, a falta de padronização na metodologia de avaliação, entre outros. Além disso, foram encontradas lacunas de pesquisa em relação ao uso da ACV em diferentes etapas da gestão de RSU, como a coleta, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos.

3.1 VISÃO GERAL DO GRÁFICO DE TRÊS CAMPOS

O gráfico de três campos oferece uma visão sobre os países com maior produção científica e as principais fontes relacionadas a Avaliação do Ciclo de Vida, Resíduos Sólidos Municipais e Gestão de Resíduos, juntamente com as palavras-chave conectadas. Além disso, mostra a relação entre eles. O gráfico foi criado usando o Biblioshiny.

Na Figura 2, é possível observar como as palavras-chave ACV, RSU, Gestão de Resíduos e Gestão de Resíduos Sólidos Municipais estão fortemente conectadas à China, Itália e Brasil. Além disso, as principais fontes desses tópicos são os periódicos *Journal of Cleaner Production* e *Waste Management*, além de *Waste Management & Research*. Em particular, o periódico *Journal of Cleaner Production* está fortemente conectado aos tópicos de ACV, RSU,

Gestão de Resíduos, Reciclagem, Incineração e Gestão de Resíduos Sólidos Municipais, enquanto *Waste Management & Research* está conectado à Digestão Anaeróbica também. Enquanto isso, *Waste Management*, além de focar nas três primeiras palavras-chave, possui uma forte conexão com a Reciclagem.



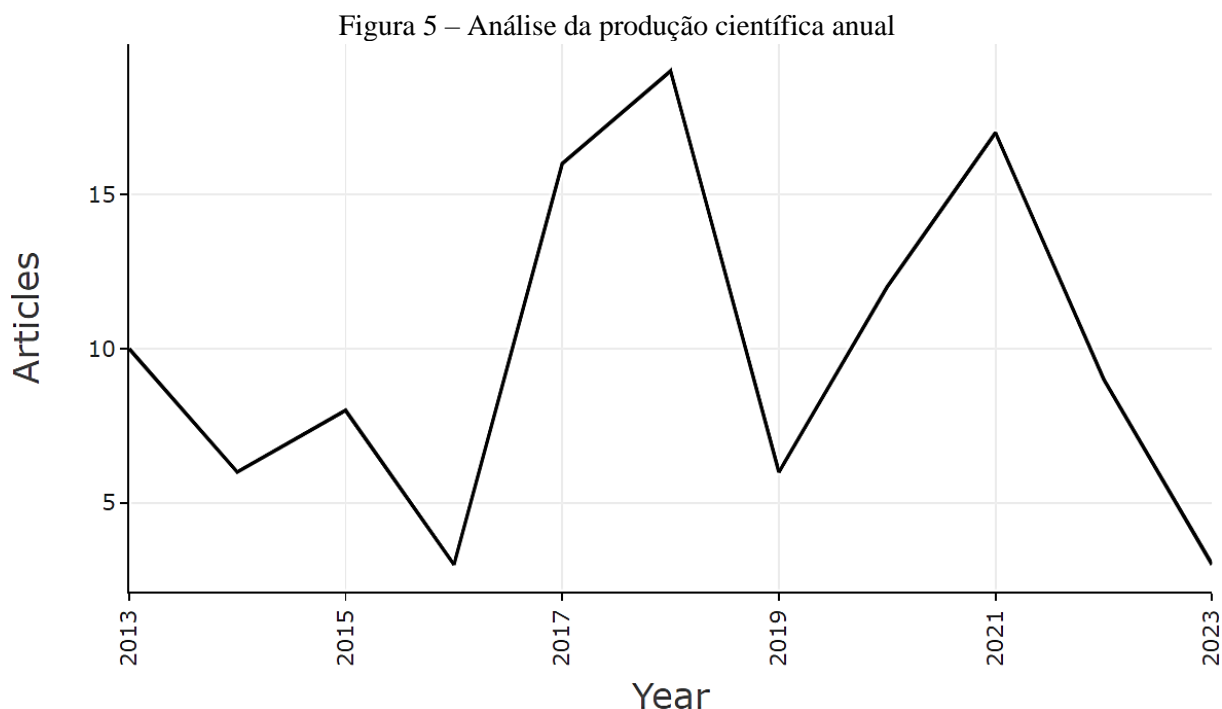
Fonte: realizado com a versão 4.1.3 do Biblioshiny.

Essas conexões entre países, palavras-chave e fontes fornecem um contexto relevante para a compreensão dos conceitos e tópicos relacionados ao estudo. A partir dessa primeira análise, surgem diferentes conceitos conectados aos principais tópicos e subtópicos que serão introduzidos na Seção 3.4.

3.2. TENDÊNCIAS TEMPORAIS

3.2.1 Produção científica anual

A produção científica abrange o período de 2013 a 2023, este intervalo de tempo justifica-se pela necessidade de incluir pesquisas recentes e relevantes sobre o tema. Essa restrição permite analisar as tendências mais recentes, descobertas e avanços tecnológicos no campo da gestão de resíduos sólidos urbanos. Além disso, garante acesso a informações atualizadas, foco na literatura relevante e captura possíveis mudanças significativas nas abordagens e regulamentos ao longo desse período. Como mostrado na Figura 5, as publicações desse tipo de artigo cresceram exponencialmente nos últimos 6 anos, atingindo o pico de 19 documentos em 2018, com uma taxa de crescimento médio anual de aproximadamente 33,16%.

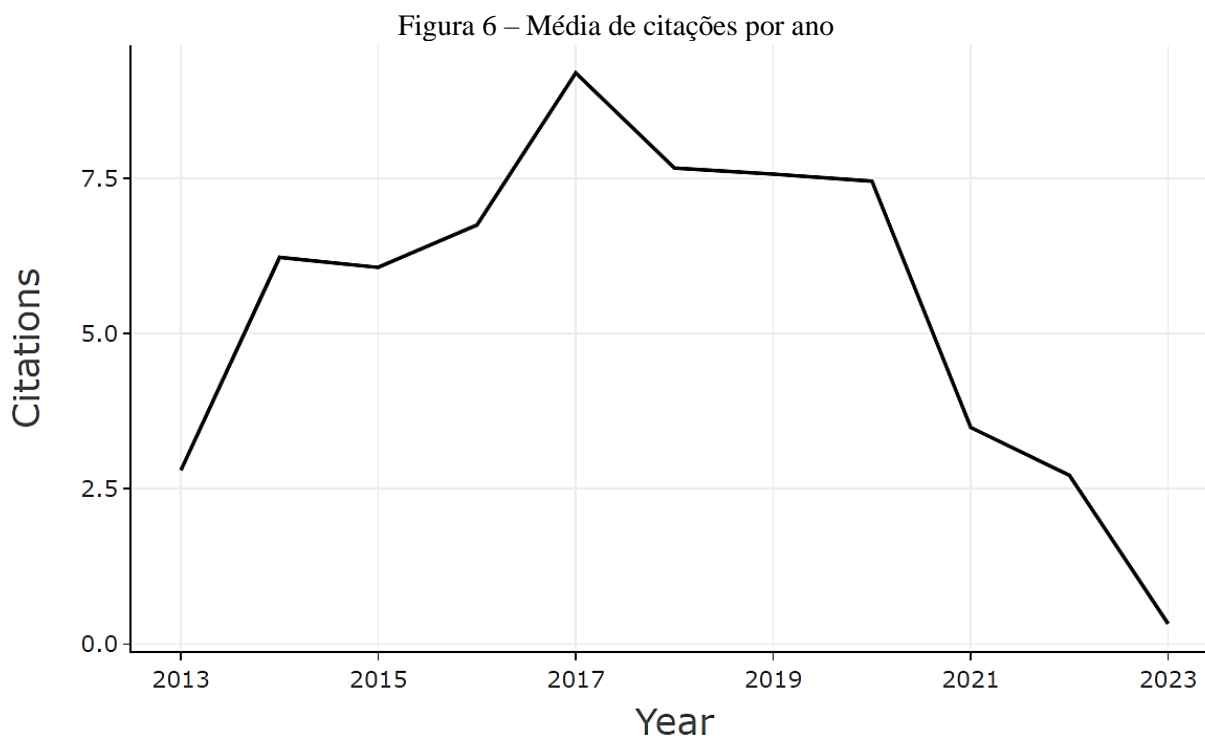


Fonte: realizado com a versão 4.1.3 do Biblioshiny.

Há um aumento acentuado de 2016 para 2017, seguido de um aumento mais moderado de 2017 para 2018. Em contraste, há uma diminuição significativa de 2018 para 2019 e de 2021 para 2022. Globalmente, o gráfico mostra uma tendência geral de crescimento no número de artigos ao longo do tempo, com algumas variações anuais consideráveis. É importante ressaltar que a taxa de crescimento anual calculada anteriormente (aproximadamente 33.16%) representa uma média dessas variações ao longo de todos os anos disponíveis.

3.2.2 Tendência da média de citações por ano

A Figura 6 apresenta as métricas relacionadas às citações recebidas por artigos ao longo dos anos. A média de citações por artigo diminui gradualmente, indo de 30,8 em 2013 para 0,33 em 2023. O número de observações (artigos) varia de 10 em 2013 para 3 em 2023. A média de citações por ano aumenta até 9,2 em 2017 e depois diminui para 0,33 em 2023. O número de anos em que os artigos são considerados citáveis diminui ao longo do tempo, de 11 em 2013 para 1 em 2023. Essas métricas indicam uma tendência de queda nas citações recebidas pelos artigos ao longo dos anos.



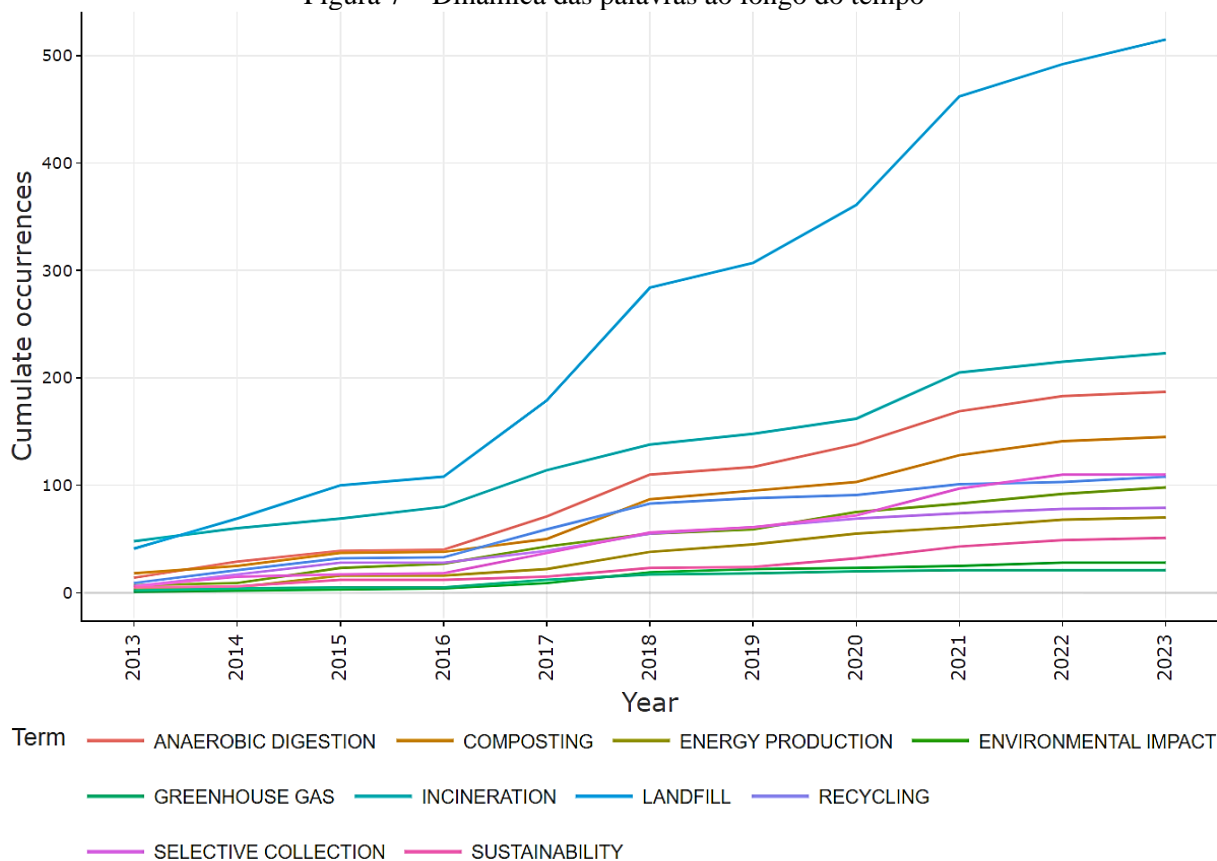
Fonte: realizado com a versão 4.1.3 do Biblioshiny.

A diminuição nas métricas pode ser atribuída a uma variedade de fatores. Mudanças nas áreas de pesquisa, práticas de publicação em constante evolução, ciclo de citação que requer tempo, acesso restrito aos artigos e variações na qualidade e impacto dos mesmos são algumas possíveis causas. Esses elementos podem influenciar a atenção dos pesquisadores, a contabilização das citações e a disponibilidade dos artigos para serem citados. No entanto, é importante considerar o contexto específico da área de pesquisa em questão para uma compreensão completa das razões subjacentes à diminuição observada nas métricas de citação.

3.2.3 Dinâmica das palavras-chave

A Figura 7 apresenta a dinâmica das doze palavras-chave mais importantes usadas pelos autores associadas a diferentes tópicos ao longo dos anos. Palavras-chave como impacto ambiental, produção de energia, gases de efeito estufa, aterros sanitários, coleta seletiva, reciclagem, incineração, digestão anaeróbica, compostagem e sustentabilidade passaram por um notável aumento em sua relevância e atenção. O interesse e a conscientização em relação ao impacto ambiental cresceram significativamente, enquanto a produção de energia sustentável se tornou uma área de foco crescente. A preocupação com os gases de efeito estufa também aumentou, assim como a atenção aos aterros sanitários e à coleta seletiva. A reciclagem permaneceu uma prioridade constante, enquanto a incineração de resíduos ganhou interesse. A digestão anaeróbica e a compostagem como métodos de tratamento de resíduos também receberam maior atenção. Por fim, a sustentabilidade emergiu como um conceito de destaque.

Figura 7 – Dinâmica das palavras ao longo do tempo



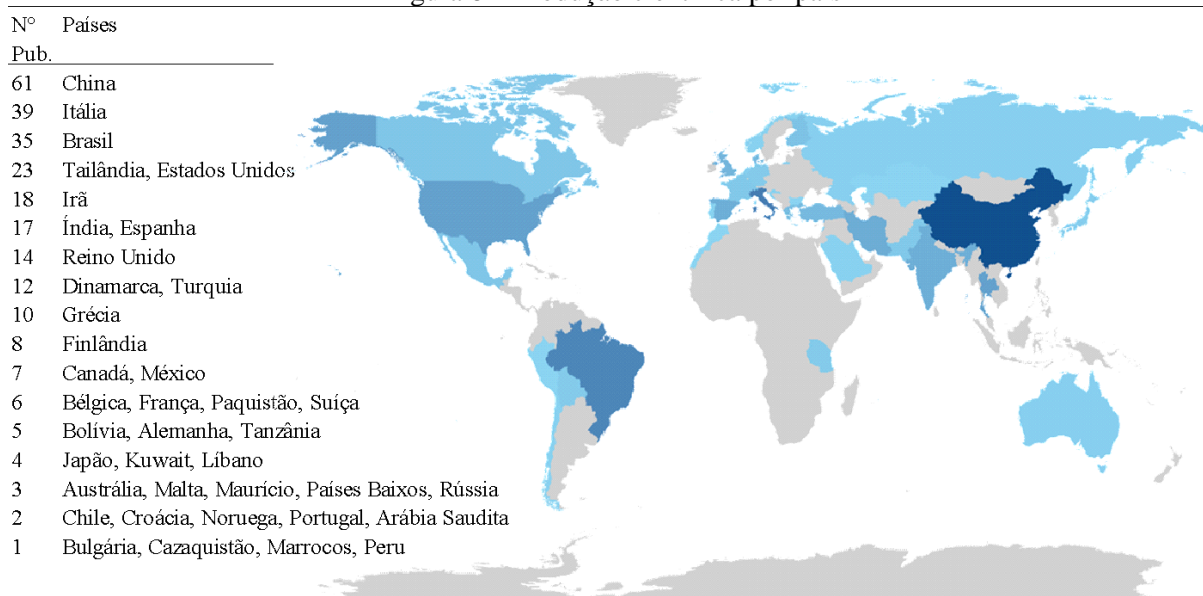
Fonte: realizado com a versão 4.1.3 do Biblioshiny.

Essa evolução ao longo do tempo pode ser atribuída a fatores como o aumento da conscientização ambiental, mudanças nas políticas e regulamentações, avanços tecnológicos, movimentos sociais e ativismo, acesso à informação global, e demandas do mercado e responsabilidade corporativa. Esses fatores combinados têm impulsionado uma maior relevância e atenção a palavras relacionadas à sustentabilidade, refletindo uma crescente conscientização e engajamento com questões ambientais.

3.3 PRODUÇÃO CIENTÍFICA POR PAÍSES

A análise da distribuição geográfica dos estudos sobre ACV na gestão de RSU fornece informações valiosas sobre as tendências e lacunas de pesquisa em nível global. De acordo com os dados exportados, verificou-se a presença de estudos em diversos países, com destaque para a China, que registrou 61 estudos. Em seguida, destacam-se a Itália e o Brasil, com 39 e 35 estudos, respectivamente. Outros países que também apresentaram um número significativo de estudos incluem Tailândia e Estados Unidos, ambos com 23 estudos, além do Irã e da Índia, com 18 e 17 estudos, respectivamente. A Espanha e o Reino Unido aparecem com 17 e 14 estudos, respectivamente, seguidos pela Dinamarca e pela Turquia, cada um com 12 estudos. Outros países apresentaram uma presença menos expressiva na pesquisa, com apenas um estudo registrado conforme a Figura 8.

Figura 8 – Produção científica por país



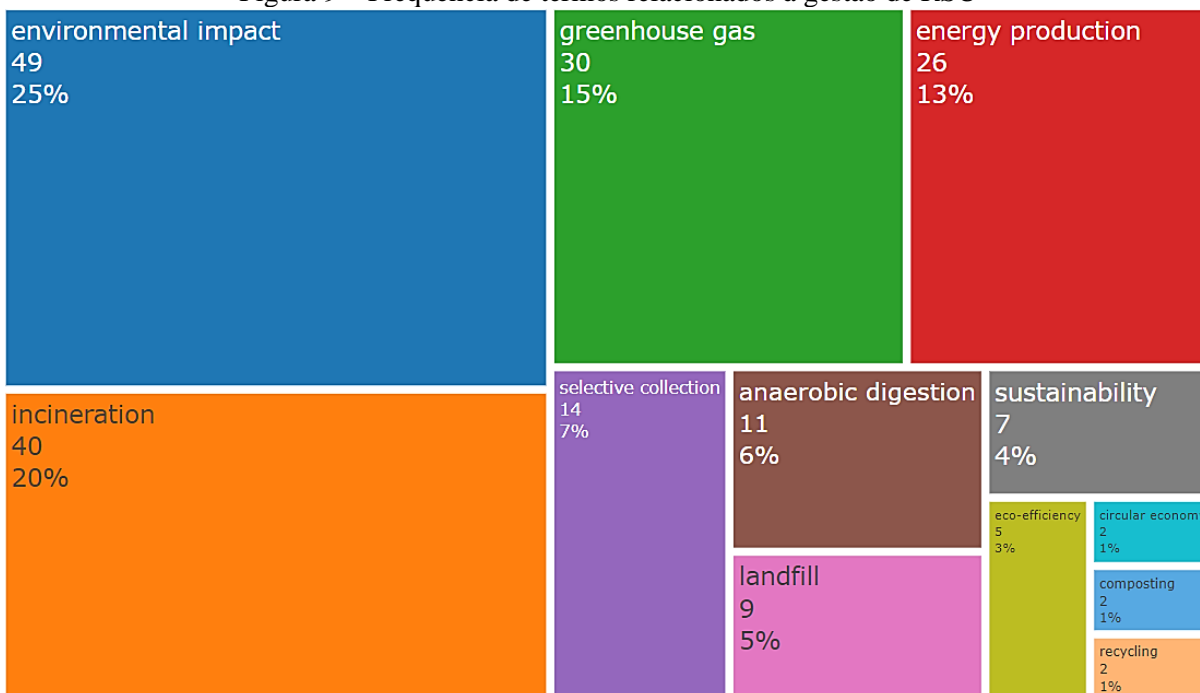
Fonte: realizado com a versão 4.1.3 do Biblioshiny.

Essa distribuição pode indicar uma maior preocupação e investimento em pesquisa sobre a ACV na gestão de RSU em alguns países, enquanto em outros ainda há uma lacuna de conhecimento a ser preenchida. Além disso, pode indicar diferentes níveis de desenvolvimento e priorização da gestão de resíduos sólidos urbanos em cada país.

3.3 GRUPOS INVESTIGADOS

A Figura 9 representa a distribuição de frequência de termos relacionados à gestão de resíduos sólidos urbanos. As maiores áreas do *Treemap* são ocupadas pelos termos "*environmental impact*" (impacto ambiental), com uma frequência de 49, e "*incineration*" (incineração) com uma frequência de 40. Outros termos relevantes incluem "*greenhouse gas*" (gases de efeito estufa) com uma frequência de 30, "*energy production*" (produção de energia) com uma frequência de 26 e "*selective collection*" (coleta seletiva) com uma frequência de 14. Esses termos demonstram a importância atribuída à redução das emissões de gases de efeito estufa, à produção de energia a partir de resíduos e à coleta seletiva na gestão sustentável de resíduos sólidos. Além disso, termos como "*anaerobic digestion*" (digestão anaeróbica), "*landfill*" (aterro), "*sustainability*" (sustentabilidade), "*eco-efficiency*" (ecoeficiência), "*circular economy*" (economia circular), "*composting*" (compostagem) e "*recycling*" (reciclagem) também estão presentes nos dados, embora com frequências menores.

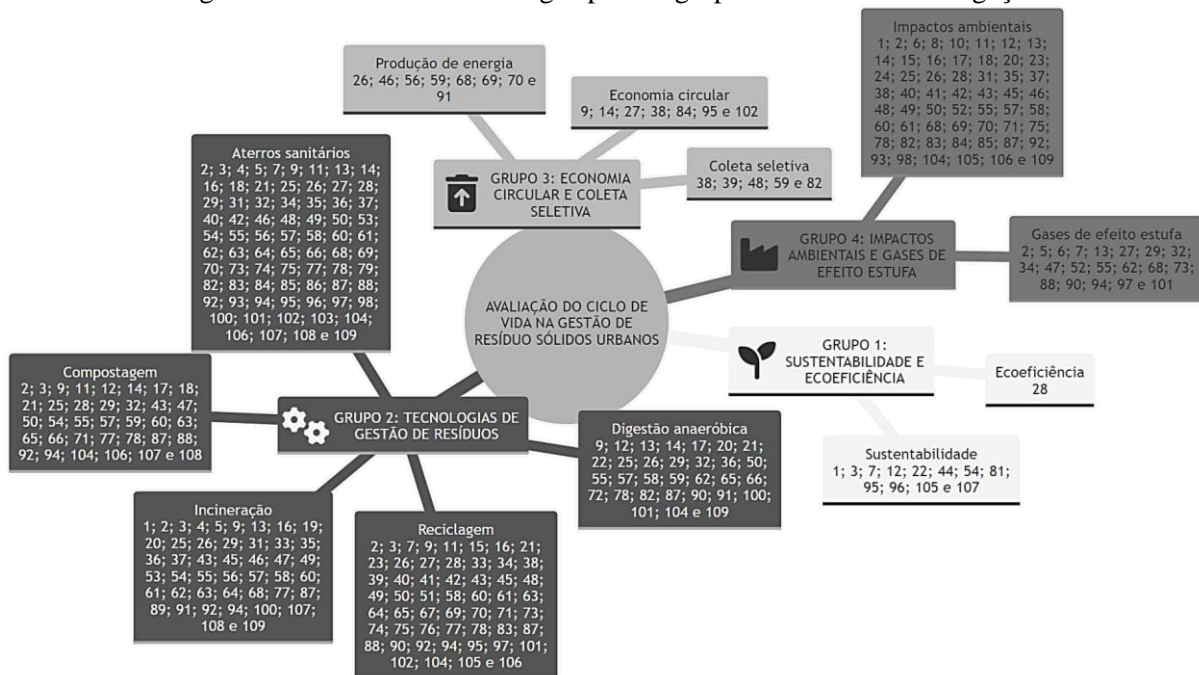
Figura 9 – Frequência de termos relacionados à gestão de RSU



Fonte: realizado com a versão 4.1.3 do Biblioshiny.

Com a finalidade de apresentar uma apreciação descritiva das correntes de pesquisa nesse campo, os artigos foram divididos em grupos de acordo com seus objetivos de pesquisa, facilitando a identificação das áreas de interesse abordadas. Tal classificação é apresentada pela Figura 10.

Figura 10 – Referência dos artigos por subgrupo temático de investigação



Fonte: elaborado pelos autores.

O Grupo 1 - Sustentabilidade e Ecoeficiência, aborda conceitos que visam maximizar a eficiência dos recursos utilizados na gestão dos resíduos. A exemplo, o estudo realizado por Oliveira *et al.* (2022) tem como foco a análise da evolução dos sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos na Amazônia, visando a sua transição para a ecoeficiência. Nesse sentido, são considerados aspectos ambientais e econômicos como importantes instrumentos de suporte para a tomada de decisões sobre o tema. Observando a figura, é perceptível que a menor parte dos artigos estão inseridos nesse grupo, sendo a boa parte no tópico da Sustentabilidade. Isso evidencia uma compreensão de que a gestão de resíduos sólidos deve abordar não apenas questões econômicas, mas também preocupações ambientais e sociais para alcançar resultados verdadeiramente sustentáveis.

No Grupo 2 - Tecnologias de gestão de resíduos, entra em discussão o papel da gestão de resíduos, que envolve o uso de tecnologias como aterros sanitários para disposição final, compostagem para transformação de materiais orgânicos em adubo, digestão anaeróbica para produção de biogás, incineração para redução do volume e geração de energia térmica e reciclagem para transformação de materiais descartados em novos produtos. Sharma *et al.* (2017) quantificam e comparam os custos associados aos sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos municipais fazendo a combinação dessas tecnologias. Analisando a figura, percebe-se que a grande maioria dos artigos estão inseridos nesse grupo, sendo os Aterros Sanitários a tecnologia de gestão de resíduos que possui mais artigos relacionados. Isso expõe a predominância da tecnologia de Aterros Sanitários no campo da gestão de resíduos sólidos, podendo ser atribuída a vários fatores, incluindo a ampla aplicação de aterros sanitários em áreas urbanas como uma opção tradicional e econômica para a disposição final de resíduos.

O Grupo 3 - Economia Circular e Coleta Seletiva, aborda o conceito de economia circular como um modelo econômico que busca reduzir o desperdício e a geração de resíduos, promovendo a utilização eficiente dos recursos como o estudo conduzido por Ferronato, (2021) que objetiva a implantação de sistemas de coleta seletiva de pequena escala, com o intuito de avaliar as possibilidades de reciclagem em nível local. Vendo a figura, esse é o terceiro grupo que mais possui artigos, sendo a Produção de Energia o que mais foi analisado. Isso aponta que existe um interesse significativo em explorar como os RSU podem ser aproveitados para a produção de energia, podendo ser atribuído ao crescente reconhecimento de que os resíduos podem ser uma fonte valiosa de energia, ao mesmo tempo em que contribuem para a gestão sustentável de RSU.

O Grupo 4 - Impactos Ambientais e Gases de Efeito Estufa, discute os impactos que podem surgir da gestão inadequada de RSU, incluindo a poluição do solo, da água e do ar, bem como a ocupação de áreas para aterros sanitários. O estudo de Caicedo-Concha *et al.* (2021) que avalia os efeitos ambientais decorrentes da utilização de um aterro sanitário na Colômbia é um bom exemplo disso. A gestão inadequada pode contribuir para a emissão de gases de efeito estufa, como metano e dióxido de carbono, que são liberados durante a decomposição de materiais orgânicos em aterros sanitários. Olhando a figura, o Grupo 4 é o segundo que possui mais artigos relacionados, sendo que a maioria analisa diretamente os impactos ambientais da gestão inadequada de RSU. Isso expõe a preocupação com os impactos ambientais e demonstra uma conscientização cada vez maior sobre os efeitos negativos que podem surgir da gestão inapropriada de RSU em nível global.

4 CONCLUSÃO, DESAFIOS E RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

4.1 CONCLUSÃO

A revisão sistemática da literatura sobre a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) na gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) permitiu uma análise abrangente da situação atual dessa área de pesquisa. Ao longo desta revisão, foram discutidas as tendências e lacunas identificadas,

bem como os desafios enfrentados e as oportunidades para o avanço da gestão de RSU com o uso da ACV.

Foi observado um crescimento significativo na produção científica sobre ACV na gestão de RSU nos últimos anos, refletindo uma crescente conscientização e preocupação com os impactos ambientais associados à geração e gestão de resíduos sólidos urbanos. O aumento da produção de resíduos e a necessidade de mitigar os impactos ambientais impulsionaram a aplicação da ACV como uma ferramenta para avaliar o desempenho ambiental das opções de gerenciamento de resíduos.

Uma apreciação detalhada dos objetivos dos 109 trabalhos permitiu identificar quatro principais grupos temáticos sendo investigados pela literatura recente: (i) tecnologias e gestão de resíduos, (ii) impactos ambientais e gases de efeito estufa, (iii) economia circular e coleta seletiva, e (iv) sustentabilidade e ecoeficiência. Esses núcleos de investigação sugerem algumas epistemologias predominantes e compõem uma agenda diversa de pesquisas para lidar com os desafios de sustentabilidade no campo de análise de ciclo de vida na gestão de resíduos sólidos.

Tratando-se de um esforço de pesquisa ainda embrionário, os achados relatados neste estudo têm caráter preliminar, ensejando apreciação da comunidade científica e avanços em futuras etapas da investigação cujo programa ele integra. Não obstante, tais achados podem contribuir para direcionar novas pesquisas e contribuir para o debate acerca da adoção de avaliação de ciclo de vida no contexto da gestão de resíduos sólidos urbanos.

4.2 DESAFIOS

Um dos principais desafios identificados na revisão foi a falta de dados confiáveis e precisos para a realização da ACV na gestão de RSU. A disponibilidade de dados de qualidade é essencial para uma avaliação precisa do ciclo de vida dos resíduos e a identificação das principais fontes de impacto ambiental. Portanto, é fundamental investir em pesquisas que forneçam dados atualizados e abrangentes sobre a geração, composição e fluxos de resíduos sólidos urbanos.

Outro desafio importante é a complexidade dos sistemas de gestão de resíduos, que envolvem múltiplas etapas, desde a coleta e transporte até o tratamento e disposição final dos resíduos. Cada etapa do ciclo de vida dos resíduos apresenta desafios específicos que precisam ser considerados na avaliação, como a seleção de tecnologias adequadas, a minimização de impactos ambientais e a maximização da eficiência dos recursos.

Além disso, a falta de padronização na metodologia de avaliação da ACV na gestão de RSU dificulta a comparação dos resultados entre estudos e a tomada de decisões com base nessas avaliações. É necessário o desenvolvimento de diretrizes e padrões claros para a realização da ACV nesse contexto, a fim de garantir a consistência e a comparabilidade dos resultados.

4.3 RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Com base nos desafios identificados, são apresentadas algumas recomendações para futuras pesquisas na área da ACV na gestão de RSU:

1. Coleta de dados: é necessário investir em pesquisas que forneçam dados atualizados e abrangentes sobre a geração, composição e fluxos de resíduos sólidos urbanos. Isso inclui a coleta de dados primários em diferentes regiões e contextos, bem como o desenvolvimento de métodos de estimativa e modelagem para preencher lacunas de dados.

2. Padronização da metodologia: é importante desenvolver diretrizes e padrões claros para a realização da ACV na gestão de RSU, a fim de garantir a consistência e a comparabilidade dos resultados. Isso inclui a definição de escopos e limites adequados, a

seleção de indicadores de desempenho relevantes e a consideração de aspectos sociais e econômicos.

3. Integração de aspectos sociais e econômicos: é necessário avançar na integração de aspectos sociais e econômicos na avaliação do ciclo de vida da gestão de RSU. Isso inclui a consideração de aspectos como equidade social, criação de empregos, custos econômicos e benefícios para a saúde humana.

4. Avaliação de impactos específicos: é importante aprofundar a avaliação dos impactos ambientais específicos associados à gestão de RSU, como a poluição do solo, da água e do ar, bem como a ocupação de áreas para aterros sanitários. Isso permitirá uma compreensão mais abrangente dos impactos ambientais e a identificação de oportunidades de melhoria na gestão de RSU.

5. Avaliação de diferentes opções de tratamento: é recomendado realizar estudos comparativos que avaliem diferentes opções de tratamento de resíduos, como aterros sanitários, compostagem, incineração, digestão anaeróbica e reciclagem. Isso permitirá uma análise mais abrangente das vantagens e desvantagens de cada opção, levando em consideração não apenas os aspectos ambientais, mas também os aspectos sociais e econômicos.

6. Participação de múltiplos atores: é importante envolver múltiplos atores, como governos, indústria, sociedade civil e academia, na pesquisa e na tomada de decisões relacionadas à gestão de RSU. A participação desses atores permitirá a obtenção de diferentes perspectivas e a consideração de diferentes interesses, contribuindo para a construção de soluções mais robustas e sustentáveis.

7. Divulgação e compartilhamento de resultados: é essencial promover a divulgação e o compartilhamento de resultados de pesquisas na área da ACV na gestão de RSU. Isso inclui a publicação de artigos científicos em periódicos de alto impacto, a participação em conferências e a criação de plataformas e redes de colaboração para troca de conhecimentos e experiências.

REFERÊNCIAS

- Alamu, S. O., Wemida, A., Tsegaye, T., & Oguntimein, G. (2021). Sustainability assessment of municipal solid waste in Baltimore USA. *Sustainability (Switzerland)*, 13(4), 1–12. <https://doi.org/10.3390/su13041915>
- Aldhafeeri, Z. M., & Alhazmi, H. (2022). Sustainability Assessment of Municipal Solid Waste in Riyadh, Saudi Arabia, in the Framework of Circular Economy Transition. *Sustainability (Switzerland)*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/su14095093>
- Aleisa, E., & Al-Jarallah, R. (2018). A triple bottom line evaluation of solid waste management strategies: a case study for an arid Gulf State, Kuwait. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 23(7), 1460–1475. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1410-z>
- Allegrini, E., Butera, S., Kosson, D. S., Van Zomeren, A., Van der Sloot, H. A., & Astrup, T. F. (2015). Life cycle assessment and residue leaching: The importance of parameter, scenario and leaching data selection. *Waste Management*, 38(1), 474–485. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.12.018>
- Al-Salem, S. M., Evangelisti, S., & Lettieri, P. (2014). Life cycle assessment of alternative technologies for municipal solid waste and plastic solid waste management in the Greater London area. *Chemical Engineering Journal*, 244, 391–402. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.01.066>
- Angelo, A. C. M., Saraiva, A. B., Clímaco, J. C. N., Infante, C. E., & Valle, R. (2017). Life Cycle Assessment and Multi-criteria Decision Analysis: Selection of a strategy for domestic food waste management in Rio de Janeiro. *Journal of Cleaner Production*, 143, 744–756. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.049>
- Anshassi, M., Sackles, H., & Townsend, T. G. (2021). A review of LCA assumptions impacting whether landfilling or incineration results in less greenhouse gas emissions. *Resources, Conservation and Recycling*, 174, 105810.
- Aranda Usón, A., Ferreira, G., Zambrana Vásquez, D., Zabalza Bribián, I., & Llera Sastresa, E. (2013). Environmental-benefit analysis of two urban waste collection systems. *Science of the Total Environment*, 463–464, 72–77. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.05.053>
- Arena, U., & Di Gregorio, F. (2014). A waste management planning based on substance flow analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 85, 54–66. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.05.008>
- Asefi, H., Shahparvari, S., & Chhetri, P. (2020). Advances in sustainable integrated solid waste management systems: lessons learned over the decade 2007–2018. *Journal of Environmental Planning and Management*, 63(13), 2287–2312.
- Atta, U., Hussain, M., & Malik, R. N. (2020). Environmental impact assessment of municipal solid waste management value chain: A case study from Pakistan. *Waste Management and Research*, 38(12), 1379–1388. <https://doi.org/10.1177/0734242X20942595>
- Banias, G., Batsioulas, M., Achillas, C., Patsios, S. I., Kontogiannopoulos, K. N., Bochtis, D., & Moussiopoulos, N. (2020). A life cycle analysis approach for the evaluation of municipal solid waste management practices: The case study of the region of central macedonia, greece. *Sustainability (Switzerland)*, 12(19). <https://doi.org/10.3390/su12198221>
- Bartolozzi, I., Baldereschi, E., Daddi, T., & Iraldo, F. (2018). The application of life cycle assessment (LCA) in municipal solid waste management: A comparative study on street sweeping services. *Journal of Cleaner Production*, 182, 455–465. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.230>
- Behrooznia, L., Sharifi, M., & Hosseinzadeh-Bandbafha, H. (2020). Comparative life cycle environmental impacts of two scenarios for managing an organic fraction of municipal solid waste in Rasht-Iran. *Journal of Cleaner Production*, 268. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122217>
- Behrooznia, L., Sharifi, M., Alimardani, R., & Mousavi-Avval, S. H. (2018). Sustainability analysis of landfilling and composting-landfilling for municipal solid waste management in the north of Iran. *Journal of Cleaner Production*, 203, 1028–1038. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.307>
- Belboom, S., Digneffe, J. M., Renzoni, R., Germain, A., & Léonard, A. (2013). Comparing technologies for municipal solid waste management using life cycle assessment methodology: A Belgian case study. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(8), 1513–1523. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0603-3>
- Bernstad Saraiva, A., Souza, R. G., & Valle, R. A. B. (2017). Comparative lifecycle assessment of alternatives for waste management in Rio de Janeiro – Investigating the influence of an attributional or consequential approach. *Waste Management*, 68, 701–710. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.002>
- Biancini, G., Marchetti, B., Cioccolanti, L., & Moglie, M. (2022). Comprehensive Life Cycle Assessment Analysis of an Italian Composting Facility concerning Environmental Footprint Minimization and Renewable Energy Integration. *Sustainability (Switzerland)*, 14(22). <https://doi.org/10.3390/su142214961>

- Botello-Álvarez, J. E., Rivas-García, P., Fausto-Castro, L., Estrada-Baltazar, A., & Gomez-Gonzalez, R. (2018). Informal collection, recycling and export of valuable waste as transcendent factor in the municipal solid waste management: A Latin-American reality. *Journal of Cleaner Production*, 182, 485–495. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.065>
- Bozorgirad, M. A., Zhang, H., Haapala, K. R., & Murthy, G. S. (2013). Environmental impact and cost assessment of incineration and ethanol production as municipal solid waste management strategies. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(8), 1502–1512. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0587-z>
- Caicedo-Concha, D. M., Sandoval-Cobo, J. J., Stringfellow, A., & Colmenares-Quintero, R. F. (2021). An evaluation of final disposal alternatives for municipal solid waste through life cycle assessment: A case of study in Colombia. *Cogent Engineering*, 8(1), 1956860.
- Campitelli, A., & Schebek, L. (2020). How is the performance of waste management systems assessed globally? A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 272, 122986
- Castellani, P., Ferronato, N., Ragazzi, M., & Torretta, V. (2023). Organic waste valorization in remote islands: Analysis of economic and environmental benefits of onsite treatment options. *Waste Management and Research*. <https://doi.org/10.1177/0734242X221126426>
- Çetinkaya, A. Y., Bilgili, L., & Levent Kuzu, S. (2018). Life cycle assessment and greenhouse gas emission evaluation from aksaray solid waste disposal facility. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 11(5), 549–558. <https://doi.org/10.1007/s11869-018-0559-3>
- Chen, G., Wang, X., Li, J., Yan, B., Wang, Y., Wu, X., Velichkova, R., Cheng, Z., & Ma, W. (2019). Environmental, energy, and economic analysis of integrated treatment of municipal solid waste and sewage sludge: A case study in China. *Science of the Total Environment*, 647, 1433–1443. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.104>
- Chen, S., Yu, L., Zhang, C., Wu, Y., & Li, T. (2023). Environmental impact assessment of multi-source solid waste based on a life cycle assessment, principal component analysis, and random forest algorithm. *Journal of Environmental Management*, 339. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117942>
- Cleary, J. (2014). A life cycle assessment of residential waste management and prevention. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(9), 1607–1622. <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0767-5>
- Costa, A. M., Mancini, S. D., Paes, M. X., Ugaya, C. M. L., de Medeiros, G. A., & de Souza, R. G. (2022). Social evaluation of municipal solid waste management systems from a life cycle perspective: a systematic literature review. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 27(5), 719–739.
- Costa, G., Lieto, A., & Lombardi, F. (2019). LCA of a consortium-based MSW management system to quantify the decrease in environmental impacts achieved for increasing separate collection rates and other modifications. *Sustainability (Switzerland)*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/su11102810>
- Coventry, Z. A., Tize, R., & Karunanithi, A. T. (2016). Comparative life cycle assessment of solid waste management strategies. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18(5), 1515–1524. <https://doi.org/10.1007/s10098-015-1086-7>
- Cremlato, R., Mastellone, M. L., Tagliaferri, C., Zaccariello, L., & Lettieri, P. (2018). Environmental impact of municipal solid waste management using Life Cycle Assessment: The effect of anaerobic digestion, materials recovery and secondary fuels production. *Renewable Energy*, 124, 180–188. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.06.033>
- Dastjerdi, B., Strezov, V., Kumar, R., He, J., & Behnia, M. (2021). Comparative life cycle assessment of system solution scenarios for residual municipal solid waste management in NSW, Australia. *Science of the Total Environment*, 767. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144355>
- de Andrade Junior, M. A. U., Zanghelini, G. M., & Soares, S. R. (2017). Using life cycle assessment to address stakeholders' potential for improving municipal solid waste management. *Waste Management and Research*, 35(5), 541–550. <https://doi.org/10.1177/0734242X17697817>
- De Moraes Lima, P., Olivo, F., Paulo, P. L., Schalch, V., & Cimpan, C. (2019). Life Cycle Assessment of prospective MSW management based on integrated management planning in Campo Grande, Brazil. *Waste Management*, 90, 59–71. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.035>
- de Oliveira, B. O. S., de Medeiros, G. A., Mancini, S. D., Paes, M. X., & Gianelli, B. F. (2022). Eco-efficiency transition applied to municipal solid waste management in the Amazon. *Journal of Cleaner Production*, 373, 133807.
- Del Rio, D. D. F., Sovacool, B. K., Griffiths, S., Bazilian, M., Kim, J., Foley, A. M., & Rooney, D. (2022). Decarbonizing the pulp and paper industry: A critical and systematic review of sociotechnical developments and policy options. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 167, 112706.
- Di Maria, F., & Micale, C. (2014). A holistic life cycle analysis of waste management scenarios at increasing source segregation intensity: The case of an Italian urban area. *Waste Management*, 34(11), 2382–2392. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.06.007>

- Di Maria, F., & Micale, C. (2015). Life cycle analysis of incineration compared to anaerobic digestion followed by composting for managing organic waste: the influence of system components for an Italian district. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(3), 377–388. <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0833-z>
- Dong, J., Chi, Y., Zou, D., Fu, C., Huang, Q., & Ni, M. (2014). Comparison of municipal solid waste treatment technologies from a life cycle perspective in China. *Waste Management and Research*, 32(1), 13–23. <https://doi.org/10.1177/0734242X13507311>
- Dong, J., Ni, M., Chi, Y., Zou, D., & Fu, C. (2013). Life cycle and economic assessment of source-separated MSW collection with regard to greenhouse gas emissions: A case study in China. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(8), 5512–5524. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1569-1>
- Dong, J., Tang, Y., Nzihou, A., Chi, Y., Weiss-Hortala, E., & Ni, M. (2018). Life cycle assessment of pyrolysis, gasification and incineration waste-to-energy technologies: Theoretical analysis and case study of commercial plants. *Science of the Total Environment*, 626, 744–753. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.151>
- Erses Yay, A. S. (2015). Application of life cycle assessment (LCA) for municipal solid waste management: A case study of Sakarya. *Journal of Cleaner Production*, 94, 284–293. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.089>
- Espinoza Pérez, L., Ziegler-Rodríguez, K., Espinoza Pérez, A. T., Vásquez, Ó. C., & Vásquez-Rowe, I. (2021). Closing the gap in the municipal solid waste management between metropolitan and regional cities from developing countries: A life cycle assessment approach. *Waste Management*, 124, 314–324. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.020>
- Espuny, M., Faria Neto, A., da Motta Reis, J. S., dos Santos Neto, S. T., Nunhes, T. V., & de Oliveira, O. J. (2021). Building new paths for responsible solid waste management. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(7), 442.
- Falzon, C., Fabri, S. G., & Frysinger, S. (2013). Integrated waste management as a climate change stabilisation wedge for the Maltese islands. *Waste Management and Research*, 31(1), 73–79. <https://doi.org/10.1177/0734242X12468198>
- Fei, F., Wen, Z., Huang, S., & De Clercq, D. (2018). Mechanical biological treatment of municipal solid waste: Energy efficiency, environmental impact and economic feasibility analysis. *Journal of Cleaner Production*, 178, 731–739. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.060>
- Fernández-González, J. M., Grindlay, A. L., Serrano-Bernardo, F., Rodríguez-Rojas, M. I., & Zamorano, M. (2017). Economic and environmental review of Waste-to-Energy systems for municipal solid waste management in medium and small municipalities. *Waste Management*, 67, 360–374. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.003>
- Fernández-Nava, Y., Del Río, J., Rodríguez-Iglesias, J., Castrillón, L., & Marañón, E. (2014). Life cycle assessment of different municipal solid waste management options: A case study of Asturias (Spain). *Journal of Cleaner Production*, 81, 178–189. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.008>
- Ferronato, N. (2021). Integrated analysis for supporting solid waste management development projects in low to middle income countries: The NAVA-CE approach. *Environmental Development*, 39. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2021.100643>
- Ferronato, N., Gorrity Portillo, M. A., Guisbert Lizarazu, E. G., & Torretta, V. (2020). Application of a life cycle assessment for assessing municipal solid waste management systems in Bolivia in an international cooperative framework. *Waste Management and Research*, 38(1_suppl), 98–116. <https://doi.org/10.1177/0734242X20906250>
- Ferronato, N., Moresco, L., Guisbert Lizarazu, G. E., Gorrity Portillo, M. A., Conti, F., & Torretta, V. (2021). Sensitivity analysis and improvements of the recycling rate in municipal solid waste life cycle assessment: Focus on a Latin American developing context. *Waste Management*, 128, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.04.043>
- Ferronato, N., Portugal Alarcón, G. P., Guisbert Lizarazu, E. G., & Torretta, V. (2021). Assessment of municipal solid waste collection in Bolivia: Perspectives for avoiding uncontrolled disposal and boosting waste recycling options. *Resources, Conservation and Recycling*, 167. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105234>
- Florentino, G., Ripa, M., Protano, G., Hornsby, C., & Ulgiati, S. (2015). Life Cycle Assessment of Mixed Municipal Solid Waste: Multi-input versus multi-output perspective. *Waste Management*, 46, 599–611. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.07.048>
- Goulart Coelho, L. M., & Lange, L. C. (2018). Applying life cycle assessment to support environmentally sustainable waste management strategies in Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 438–450. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.09.026>

- Habib, K., Schmidt, J. H., & Christensen, P. (2013). A historical perspective of Global Warming Potential from Municipal Solid Waste Management. *Waste Management*, 33(9), 1926–1933. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.04.016>
- Haupt, M., Kägi, T., & Hellweg, S. (2018). Modular life cycle assessment of municipal solid waste management. *Waste Management*, 79, 815–827. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.03.035>
- Havukainen, J., Zhan, M., Dong, J., Liikanen, M., Deviatkin, I., Li, X., & Horttanainen, M. (2017). Environmental impact assessment of municipal solid waste management incorporating mechanical treatment of waste and incineration in Hangzhou, China. *Journal of Cleaner Production*, 141, 453–461. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.146>
- Henriksen, T., Levis, J. W., Barlaz, M. A., & Damgaard, A. (2019). Approaches to fill data gaps and evaluate process completeness in LCA—perspectives from solid waste management systems. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(9), 1587–1601. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01592-z>
- Ibáñez-Forés, V., Bovea, M. D., Coutinho-Nóbrega, C., de Medeiros-García, H. R., & Barreto-Lins, R. (2018). Temporal evolution of the environmental performance of implementing selective collection in municipal waste management systems in developing countries: A Brazilian case study. *Waste Management*, 72, 65–77. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.027>
- Istrate, I. R., Iribarren, D., Gálvez-Martos, J. L., & Dufour, J. (2020). Review of life-cycle environmental consequences of waste-to-energy solutions on the municipal solid waste management system. *Resources, Conservation and Recycling*, 157, 104778.
- Kaazke, J., Meneses, M., Wilke, B. M., & Rotter, V. S. (2013). Environmental evaluation of waste treatment scenarios for the towns Khanty-Mansiysk and Surgut, Russia. *Waste Management and Research*, 31(3), 315–326. <https://doi.org/10.1177/0734242X12473792>
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050*. World Bank Publications.
- Khandelwal, H., Dhar, H., Thalla, A. K., & Kumar, S. (2019). Application of life cycle assessment in municipal solid waste management: A worldwide critical review. *Journal of Cleaner Production*, 209, 630–654.
- Khandelwal, H., Thalla, A. K., Kumar, S., & Kumar, R. (2019). Life cycle assessment of municipal solid waste management options for India. *Bioresource Technology*, 288. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121515>
- Kouassi, H. K., Murayama, T., & Ota, M. (2022). Life Cycle Analysis and Cost–Benefit Assessment of the Waste Collection System in Anyama, Cote d’Ivoire. *Sustainability (Switzerland)*, 14(20). <https://doi.org/10.3390/su142013062>
- Lara-Topete, G. O., Robles-Rodríguez, C. E., Orozco-Nunnally, D. A., Vázquez-Morillas, A., Bernache-Pérez, G., & Gradilla-Hernández, M. S. (2023). A mini review on the main challenges of implementing mechanical biological treatment plants for municipal solid waste in the Latin America region: Learning from the experiences of developed countries. *Waste Management & Research*, 0734242X231154143.
- Levis, J. W., Barlaz, M. A., DeCarolis, J. F., & Ranjithan, S. R. (2013). A generalized multistage optimization modeling framework for life cycle assessment-based integrated solid waste management. *Environmental Modelling and Software*, 50, 51–65. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.08.007>
- Li, H., Nitivattananon, V., & Li, P. (2015a). Developing a sustainability assessment model to analyze China’s municipal solid waste management enhancement strategy. *Sustainability (Switzerland)*, 7(2), 1116–1141. <https://doi.org/10.3390/su7021116>
- Li, H., Nitivattananon, V., & Li, P. (2015b). Municipal solid waste management health risk assessment from air emissions for China by applying life cycle analysis. *Waste Management and Research*, 33(5), 401–409. <https://doi.org/10.1177/0734242X15580191>
- Liao, N., Lü, F., Zhang, H., & He, P. (2023). Life cycle assessment of waste management in rural areas in the transition period from mixed collection to source-separation. *Waste Management*, 158, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.01.008>
- Liikanen, M., Havukainen, J., Hupponen, M., & Horttanainen, M. (2017). Influence of different factors in the life cycle assessment of mixed municipal solid waste management systems – A comparison of case studies in Finland and China. *Journal of Cleaner Production*, 154, 389–400. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.023>
- Liikanen, M., Havukainen, J., Viana, E., & Horttanainen, M. (2018). Steps towards more environmentally sustainable municipal solid waste management – A life cycle assessment study of São Paulo, Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 196, 150–162. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.005>
- Lima, P. D. M., Colvero, D. A., Gomes, A. P., Wenzel, H., Schalch, V., & Cimpan, C. (2018). Environmental assessment of existing and alternative options for management of municipal solid waste in Brazil. *Waste Management*, 78, 857–870. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.007>

- Liu, G., Hao, Y., Dong, L., Yang, Z., Zhang, Y., & Ulgiati, S. (2017). An emergy-LCA analysis of municipal solid waste management. *Resources, Conservation and Recycling*, 120, 131–143. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.12.003>
- Liu, M., Tan, Z., Fan, X., Chang, Y., Wang, L., & Yin, X. (2021). Application of life cycle assessment for municipal solid waste management options in Hohhot, People's Republic of China. *Waste Management and Research*, 39(1), 63–72. <https://doi.org/10.1177/0734242X20959709>
- Liu, Y., Ni, Z., Kong, X., & Liu, J. (2017). Greenhouse gas emissions from municipal solid waste with a high organic fraction under different management scenarios. *Journal of Cleaner Production*, 147, 451–457. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.135>
- Maalouf, A., & El-Fadel, M. (2018). Carbon footprint of integrated waste management systems with implications of food waste diversion into the wastewater stream. *Resources, Conservation and Recycling*, 133, 263–277. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.02.021>
- Maalouf, A., & El-Fadel, M. (2019). Life cycle assessment for solid waste management in Lebanon: Economic implications of carbon credit. *Waste Management and Research*, 37(1_suppl), 14–26. <https://doi.org/10.1177/0734242X18815951>
- Mandpe, A., Bhattacharya, A., Paliya, S., Pratap, V., Hussain, A., & Kumar, S. (2022). Life-cycle assessment approach for municipal solid waste management system of Delhi city. *Environmental Research*, 212. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113424>
- Mandpe, A., Paliya, S., Gedam, V. V., Patel, S., Tyagi, L., & Kumar, S. (2023). Circular economy approach for sustainable solid waste management: A developing economy perspective. *Waste Management & Research*, 41(3), 499-511.
- Margallo, M., Ziegler-Rodriguez, K., Vázquez-Rowe, I., Aldaco, R., Irabien, Á., & Kahhat, R. (2019). Enhancing waste management strategies in Latin America under a holistic environmental assessment perspective: A review for policy support. *Science of the Total Environment*, 689, 1255-1275.
- Mattos, F., & Calmon, J. L. (2023). Social Life Cycle Assessment in Municipal Solid Waste Management Systems with Contribution of Waste Pickers: Literature Review and Proposals for New Studies. *Sustainability*, 15(2), 1717.
- Mirabella, N., Allacker, K., & Sala, S. (2019). Current trends and limitations of life cycle assessment applied to the urban scale: critical analysis and review of selected literature. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24, 1174-1193.
- Mirdar Harijani, A., & Mansour, S. (2022). Municipal solid waste recycling network with sustainability and supply uncertainty considerations. *Sustainable Cities and Society*, 81. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103857>
- Mulya, K. S., Zhou, J., Phuang, Z. X., Laner, D., & Woon, K. S. (2022). A systematic review of life cycle assessment of solid waste management: methodological trends and prospects. *Science of the Total Environment*, 831, 154903.
- Nabavi-Pelesaraei, A., Bayat, R., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Afrasyabi, H., & Berrada, A. (2017). Prognostication of energy use and environmental impacts for recycle system of municipal solid waste management. *Journal of Cleaner Production*, 154, 602–613. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.033>
- Nabavi-Pelesaraei, A., Bayat, R., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Afrasyabi, H., & Chau, K. wing. (2017). Modeling of energy consumption and environmental life cycle assessment for incineration and landfill systems of municipal solid waste management - A case study in Tehran Metropolis of Iran. *Journal of Cleaner Production*, 148, 427–440. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.172>
- Naveenkumar, R., Iyyappan, J., Pravin, R., Kadry, S., Han, J., Sindhu, R., ... & Baskar, G. (2023). A strategic review on sustainable approaches in municipal solid waste management and energy recovery: Role of artificial intelligence, economic stability and life cycle assessment. *Bioresource Technology*, 129044.
- Noya, I., Inglezakis, V., González-García, S., Katsou, E., Feijoo, G., & Moreira, M. T. (2018). Comparative environmental assessment of alternative waste management strategies in developing regions: A case study in Kazakhstan. *Waste Management and Research*, 36(8), 689–697. <https://doi.org/10.1177/0734242X18786388>
- Oliveira, B. O. S. de, de Medeiros, G. A., Mancini, S. D., Paes, M. X., & Gianelli, B. F. (2022). Eco-efficiency transition applied to municipal solid waste management in the Amazon. *Journal of Cleaner Production*, 373. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133807>
- Özer, B., & Yay, A. S. E. (2021). Comparative life cycle analysis of municipal waste management systems: Kırklareli/Turkey case study. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12247-0/Published>
- Paes, M. X., de Medeiros, G. A., Mancini, S. D., Bortoleto, A. P., Puppim de Oliveira, J. A., & Kulay, L. A. (2020). Municipal solid waste management: Integrated analysis of environmental and economic

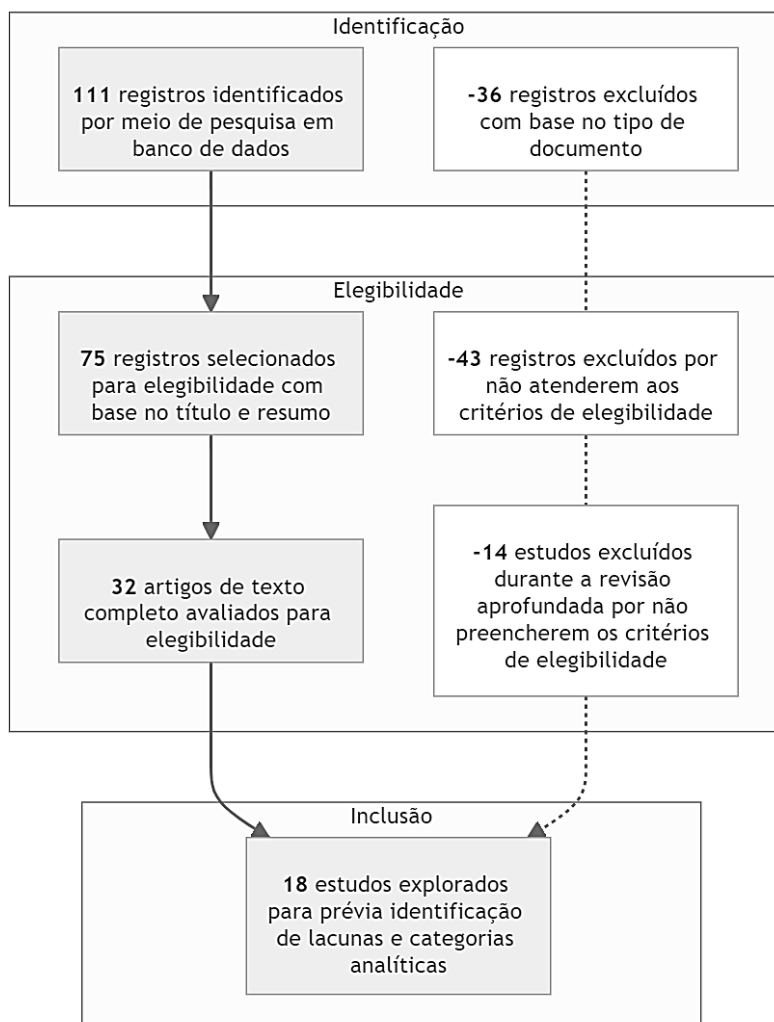
- indicators based on life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 254. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119848>
- Panepinto, D., Blengini, G. A., & Genon, G. (2015). Economic and environmental comparison between two scenarios of waste management: MBT vs thermal treatment. *Resources, Conservation and Recycling*, 97, 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.02.002>
- Petticrew, M., & Roberts, H. (2008). *Systematic reviews in the social sciences: A practical guide*. John Wiley & Sons.
- Pongpunpurt, P., Muensitthiroj, P., Pinitjitsamut, P., Chuenchum, P., Painmanakul, P., Chawaloephonsiya, N., & Poyai, T. (2022). Studying Waste Separation Behaviors and Environmental Impacts toward Sustainable Solid Waste Management: A Case Study of Bang Chalong Housing, Samut Prakan, Thailand. *Sustainability (Switzerland)*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/su14095040>
- Pourreza Movahed, Z., Kabiri, M., Ranjbar, S., & Joda, F. (2020). Multi-objective optimization of life cycle assessment of integrated waste management based on genetic algorithms: A case study of Tehran. *Journal of Cleaner Production*, 247. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119153>
- Prajapati, K. K., Yadav, M., Singh, R. M., Parikh, P., Pareek, N., & Vivekanand, V. (2021). An overview of municipal solid waste management in Jaipur city, India - Current status, challenges and recommendations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 152. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111703>
- Pranckutė, R. (2021). Web of Science (WoS) and Scopus: The titans of bibliographic information in today's academic world. *Publications*, 9(1), 12.
- Prateep Na Talang, R., & Sirivithayapakorn, S. (2021). Environmental and financial assessments of open burning, open dumping and integrated municipal solid waste disposal schemes among different income groups. *Journal of Cleaner Production*, 312. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127761>
- Pressley, P. N., Levis, J. W., Damgaard, A., Barlaz, M. A., & DeCarolis, J. F. (2015). Analysis of material recovery facilities for use in life-cycle assessment. *Waste Management*, 35, 307–317. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.09.012>
- Pujara, Y., Pathak, P., Sharma, A., & Govani, J. (2019). Review on Indian Municipal Solid Waste Management practices for reduction of environmental impacts to achieve sustainable development goals. *Journal of Environmental Management*, 248, 109238.
- Rajcoomar, A., & Ramjeawon, T. (2017). Life cycle assessment of municipal solid waste management scenarios on the small island of Mauritius. *Waste Management and Research*, 35(3), 313–324. <https://doi.org/10.1177/0734242X16679883>
- Richard, E. N., Hilonga, A., Machunda, R. L., & Njau, K. N. (2021). Life cycle analysis of potential municipal solid wastes management scenarios in Tanzania: the case of Arusha City. *Sustainable Environment Research*, 31(1). <https://doi.org/10.1186/s42834-020-00075-3>
- Ripa, M., Fiorentino, G., Vacca, V., & Ulgiati, S. (2017). The relevance of site-specific data in Life Cycle Assessment (LCA). The case of the municipal solid waste management in the metropolitan city of Naples (Italy). *Journal of Cleaner Production*, 142, 445–460. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.149>
- Roberts, K. P., Turner, D. A., Coello, J., Stringfellow, A. M., Bello, I. A., Powrie, W., & Watson, G. V. R. (2018). SWIMS: A dynamic life cycle-based optimisation and decision support tool for solid waste management. *Journal of Cleaner Production*, 196, 547–563. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.265>
- Rodrigues, J., Gondran, N., Beziat, A., & Laforest, V. (2021). Application of the absolute environmental sustainability assessment framework to multifunctional systems – The case of municipal solid waste management. *Journal of Cleaner Production*, 322. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129034>
- Rupani, P. F., Delarestaghi, R. M., Abbaspour, M., Rupani, M. M., El-Mesery, H. S., & Shao, W. (2019). Current status and future perspectives of solid waste management in Iran: a critical overview of Iranian metropolitan cities. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 32777–32789.
- Sarigiannis, D. A., Handakas, E. J., Karakitsios, S. P., & Gotti, A. (2021). Life cycle assessment of municipal waste management options. *Environmental Research*, 193. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110307>
- Sauve, G., & Van Acker, K. (2020). The environmental impacts of municipal solid waste landfills in Europe: A life cycle assessment of proper reference cases to support decision making. *Journal of Environmental Management*, 261. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110216>
- Sedpho, S., Sampattagul, S., Chaiyat, N., & Gheewala, S. H. (2017). Conventional and exergetic life cycle assessment of organic rankine cycle implementation to municipal waste management: the case study of Mae Hong Son (Thailand). *International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(11), 1773–1784. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1216-4>

- Sevigné Itoiz, E., Gasol, C. M., Farreny, R., Rieradevall, J., & Gabarrell, X. (2013). CO2ZW: Carbon footprint tool for municipal solid waste management for policy options in Europe. Inventory of Mediterranean countries. *Energy Policy*, 56, 623–632. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.01.027>
- Sharma, B. K., & Chandel, M. K. (2017). Life cycle assessment of potential municipal solid waste management strategies for Mumbai, India. *Waste Management and Research*, 35(1), 79–91. <https://doi.org/10.1177/0734242X16675683>
- Silva, V., Contreras, F., & Bortoleto, A. P. (2021). Life-cycle assessment of municipal solid waste management options: A case study of refuse derived fuel production in the city of Brasilia, Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 279. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123696>
- Sisani, F., Maalouf, A., & Di Maria, F. (2022). Environmental and energy performances of the Italian municipal solid waste incineration system in a life cycle perspective. *Waste Management and Research*, 40(2), 218–226. <https://doi.org/10.1177/0734242X211003946>
- Syeda, A. B., Jadoon, A., & Chaudhry, M. N. (2017). Life cycle assessment modelling of greenhouse gas emissions from existing and proposed municipal solid waste management system of Lahore, Pakistan. *Sustainability (Switzerland)*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/su9122242>
- Tagliaferri, C., Evangelisti, S., Clift, R., Lettieri, P., Chapman, C., & Taylor, R. (2016). Life cycle assessment of conventional and advanced two-stage energy-from-waste technologies for methane production. *Journal of Cleaner Production*, 129, 144–158. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.092>
- Taşkın, A., & Demir, N. (2020). Life cycle environmental and energy impact assessment of sustainable urban municipal solid waste collection and transportation strategies. *Sustainable Cities and Society*, 61. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102339>
- Thushari, I., Vicheanteab, J., & Janjaroen, D. (2020). Material flow analysis and life cycle assessment of solid waste management in urban green areas, Thailand. *Sustainable Environment Research*, 30(1). <https://doi.org/10.1186/s42834-020-00057-5>
- Tomić, T., & Schneider, D. R. (2017). Municipal solid waste system analysis through energy consumption and return approach. *Journal of Environmental Management*, 203, 973–987. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.06.070>
- Tulokhonova, A., & Ulanova, O. (2013). Assessment of municipal solid waste management scenarios in Irkutsk (Russia) using a life cycle assessment-integrated waste management model. *Waste Management and Research*, 31(5), 475–484. <https://doi.org/10.1177/0734242X13476745>
- Turner, D. A., Williams, I. D., & Kemp, S. (2016). Combined material flow analysis and life cycle assessment as a support tool for solid waste management decision making. *Journal of Cleaner Production*, 129, 234–248. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.077>
- United Nations Environment Programme. (2022). *Emissions Gap Report 2022: The Closing Window. Climate Crisis Calls for Rapid Transformation of Societies*. UN.
- Viau, S., Majeau-Bettez, G., Spreutels, L., Legros, R., Margni, M., & Samson, R. (2020). Substitution modelling in life cycle assessment of municipal solid waste management. *Waste Management*, 102, 795–803. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.11.042>
- Vinitskaia, N., Zaikova, A., Deviatkin, I., Bachina, O., & Horttanainen, M. (2021). Life cycle assessment of the existing and proposed municipal solid waste management system in Moscow, Russia. *Journal of Cleaner Production*, 328. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129407>
- Wang, D., He, J., Tang, Y. T., Higgitt, D., & Robinson, D. (2020). Life cycle assessment of municipal solid waste management in Nottingham, England: Past and future perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 251. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119636>
- Wang, D., Tang, Y. T., Sun, Y., & He, J. (2022). Assessing the transition of municipal solid waste management by combining material flow analysis and life cycle assessment. *Resources, Conservation and Recycling*, 177. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105966>
- Wang, Y., Levis, J. W., & Barlaz, M. A. (2021a). Development of Streamlined Life-Cycle Assessment for the Solid Waste Management System. *Environmental Science and Technology*, 55(8), 5475–5484. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c07461>
- Wang, Y., Levis, J. W., & Barlaz, M. A. (2021b). Life-Cycle Assessment of a Regulatory Compliant U.S. Municipal Solid Waste Landfill. *Environmental Science and Technology* (Vol. 55, Número 20, p. 13583–13592). *American Chemical Society*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c02526>
- Wang, Z., Lv, J., Gu, F., Yang, J., & Guo, J. (2020). Environmental and economic performance of an integrated municipal solid waste treatment: A Chinese case study. *Science of the Total Environment*, 709. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136096>
- Wulf, C., Werker, J., Ball, C., Zapp, P., & Kuckshinrichs, W. (2019). Review of sustainability assessment approaches based on life cycles. *Sustainability*, 11(20), 5717.

- Yadav, P., & Samadder, S. R. (2018). Environmental impact assessment of municipal solid waste management options using life cycle assessment: a case study. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(1), 838–854. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0439-7>
- Zhang, J., Qin, Q., Li, G., & Tseng, C. H. (2021). Sustainable municipal waste management strategies through life cycle assessment method: A review. *Journal of Environmental Management*, 287, 112238.
- Zhao, W., Yu, H., Liang, S., Zhang, W., & Yang, Z. (2018). Resource impacts of municipal solid waste treatment systems in Chinese cities based on hybrid life cycle assessment. *Resources, Conservation and Recycling*, 130, 215–225. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.12.004>
- Zhou, Z., Tang, Y., Dong, J., Chi, Y., Ni, M., Li, N., & Zhang, Y. (2018). Environmental performance evolution of municipal solid waste management by life cycle assessment in Hangzhou, China. *Journal of Environmental Management*, 227, 23–33. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.083>

APÊNDICE A – IDENTIFICAÇÃO *EX-ANTE* DE LACUNAS PARA CONSECUÇÃO DA REVISÃO DE LITERATURA

Figura 12 – Fluxograma de busca por artigos de revisão de literatura (18 artigos identificados)



Fonte: elaborado pelos autores.

Quadro A1 – 18 artigos de revisão explorados para prévia identificação de lacunas e categorias analíticas

| Referência | Título do artigo |
|----------------------------------|--|
| Anshassi <i>et al.</i> (2021) | A review of LCA assumptions impacting whether landfilling or incineration results in less greenhouse gas emissions. |
| Asefi <i>et al.</i> (2020) | Advances in sustainable integrated solid waste management systems: lessons learned over the decade 2007-2018. |
| Campitelli <i>et al.</i> (2020) | How is the performance of waste management systems assessed globally? A systematic review. |
| Costa <i>et al.</i> (2022) | Social evaluation of municipal solid waste management systems from a life cycle perspective: a systematic literature review. |
| Del Rio <i>et al.</i> (2022) | Decarbonizing the pulp and paper industry: A critical and systematic review of sociotechnical developments and policy options. |
| Istrate <i>et al.</i> (2020) | Review of life-cycle environmental consequences of waste-to-energy solutions on the municipal solid waste management system. |
| Khandelwal <i>et al.</i> (2019) | Application of life cycle assessment in municipal solid waste management: A worldwide critical review. |
| Lara-Topete <i>et al.</i> (2023) | A mini review on the main challenges of implementing mechanical biological treatment plants for municipal solid waste in the Latin America region: Learning from the experiences of developed countries. |
| Mandpe <i>et al.</i> (2023) | Circular economy approach for sustainable solid waste management: A developing economy perspective. |
| Margallo <i>et al.</i> (2019) | Enhancing waste management strategies in Latin America under a holistic environmental assessment perspective: A review for policy support. |
| Mattos <i>et al.</i> (2023) | Social Life Cycle Assessment in Municipal Solid Waste Management Systems with Contribution of Waste Pickers: Literature Review and Proposals for New Studies. |
| Mirabella <i>et al.</i> (2019) | Current trends and limitations of life cycle assessment applied to the urban scale: critical analysis and review of selected literature. |
| Mulya <i>et al.</i> (2022) | A systematic review of life cycle assessment of solid waste management: Methodological trends and prospects. |
| Naveenkumar <i>et al.</i> (2023) | A strategic review on sustainable approaches in municipal solid waste management and energy recovery: Role of artificial intelligence, economic stability and life cycle assessment. |
| Pujara <i>et al.</i> (2019) | Review on Indian Municipal Solid Waste Management practices for reduction of environmental impacts to achieve sustainable development goals. |
| Rupani <i>et al.</i> (2019) | Current status and future perspectives of solid waste management in Iran: a critical overview of Iranian metropolitan cities. |
| Wulf <i>et al.</i> (2019) | Review of Sustainability Assessment Approaches Based on Life Cycles. |
| Zhang <i>et al.</i> (2021) | Sustainable municipal waste management strategies through life cycle assessment method: A review. |

Quadro A2 – Principais Categorias de análise e suas respectivas lacunas

| Categorias | Lacunas |
|--|---|
| Avaliação de ciclo de vida (LCA) | Avaliação de impacto ambiental e social |
| Gestão de resíduos sólidos municipais | Desenvolvimento de políticas sustentáveis |
| Abordagens da economia circular | Eficiência energética |
| Tecnologias de tratamento de resíduos | Métodos de avaliação de desempenho |
| Gestão integrada de resíduos sólidos | Impactos ambientais |
| Recuperação de energia a partir de resíduos sólidos | Redução de impactos ambientais |
| Perspectivas futuras para a gestão de resíduos sólidos | Revisões metodológicas da LCA |

APÊNDICE B – ESTUDOS DA REVISÃO SISTEMÁTICA

Quadro B1 – Revisão sistemática – síntese dos objetivos

| # | Referência | Título do artigo |
|----|--------------------------------------|---|
| 1 | Alamu <i>et al.</i> (2021) | Sustainability Assessment of Municipal Solid Waste in Baltimore USA |
| 2 | Aldhafeeri <i>et al.</i> (2022) | Sustainability Assessment of Municipal Solid Waste in Riyadh, Saudi Arabia, in the Framework of Circular Economy Transition |
| 3 | Aleisa <i>et al.</i> (2018) | A triple bottom line evaluation of solid waste management strategies: a case study for an arid Gulf State, Kuwait |
| 4 | Allegrini <i>et al.</i> (2015) | Life cycle assessment and residue leaching: The importance of parameter, scenario and leaching data selection |
| 5 | Al-Salem <i>et al.</i> (2014) | Life cycle assessment of alternative technologies for municipal solid waste and plastic solid waste management in the Greater London area |
| 6 | Angelo <i>et al.</i> (2017) | Life Cycle Assessment and Multi-criteria Decision Analysis: Selection of a strategy for domestic food waste management in Rio de Janeiro |
| 7 | Arena <i>et al.</i> (2014) | A waste management planning based on substance flow analysis |
| 8 | Atta <i>et al.</i> (2020) | Environmental impact assessment of municipal solid waste management value chain: A case study from Pakistan |
| 9 | Banias <i>et al.</i> (2020) | A Life Cycle Analysis Approach for the Evaluation of Municipal Solid Waste Management Practices: The Case Study of the Region of Central Macedonia, Greece |
| 10 | Bartolozzi <i>et al.</i> (2018) | The application of life cycle assessment (LCA) in municipal solid waste management: A comparative study on street sweeping services |
| 11 | Behrooznia <i>et al.</i> (2018) | Sustainability analysis of landfilling and composting-landfilling for municipal solid waste management in the north of Iran |
| 12 | Behrooznia <i>et al.</i> (2020) | Comparative life cycle environmental impacts of two scenarios for managing an organic fraction of municipal solid waste in Rasht-Iran |
| 13 | Belboom <i>et al.</i> (2013) | Comparing technologies for municipal solid waste management using life cycle assessment methodology: a Belgian case study |
| 14 | Biancini <i>et al.</i> (2022) | Comprehensive Life Cycle Assessment Analysis of an Italian Composting Facility concerning Environmental Footprint Minimization and Renewable Energy Integration |
| 15 | Botello-Álvarez <i>et al.</i> (2018) | Informal collection, recycling and export of valuable waste as transcendent factor in the municipal solid waste management: A Latin-American reality |
| 16 | Bozorgirad <i>et al.</i> (2013) | Environmental impact and cost assessment of incineration and ethanol production as municipal solid waste management strategies |
| 17 | Castellani <i>et al.</i> (2023) | Organic waste valorization in remote islands: Analysis of economic and environmental benefits of onsite treatment options |
| 18 | Çetinkaya <i>et al.</i> (2018) | Life cycle assessment and greenhouse gas emission evaluation from Aksaray solid waste disposal facility |

- 19 Chen *et al.* (2019) Environmental, energy, and economic analysis of integrated treatment of municipal solid waste and sewage sludge: A case study in China
- 20 Chen *et al.* (2023) Environmental impact assessment of multi-source solid waste based on a life cycle assessment, principal component analysis, and random forest algorithm
- 21 Cleary *et al.* (2014) A life cycle assessment of residential waste management and prevention
- 22 Goulart Coelho *et al.* (2018) Applying life cycle assessment to support environmentally sustainable waste management strategies in Brazil
- 23 Costa *et al.* (2019) LCA of a Consortium-Based MSW Management System to Quantify the Decrease in Environmental Impacts Achieved for Increasing Separate Collection Rates and Other Modifications
- 24 Coventry *et al.* (2016) Comparative life cycle assessment of solid waste management strategies
- 25 Cremiato *et al.* (2018) Environmental impact of municipal solid waste management using Life Cycle Assessment: The effect of anaerobic digestion, materials recovery and secondary fuels production
- 26 Dastjerdi *et al.* (2021) Comparative life cycle assessment of system solution scenarios for residual municipal solid waste management in NSW, Australia
- 27 de Andrade Junior *et al.* (2017) Using life cycle assessment to address stakeholders' potential for improving municipal solid waste management
- 28 de Oliveira *et al.* (2022) Eco-efficiency transition applied to municipal solid waste management in the Amazon
- 29 Di Maria *et al.* (2015) Life cycle analysis of incineration compared to anaerobic digestion followed by composting for managing organic waste: the influence of system components for an Italian district
- 30 Di Maria *et al.* (2014) A holistic life cycle analysis of waste management scenarios at increasing source segregation intensity: The case of. an Italian urban area
- 31 Dong *et al.* (2014) Comparison of municipal solid waste treatment technologies from a life cycle perspective in China
- 32 Dong *et al.* (2013) Life cycle and economic assessment of source-separated MSW collection with regard to greenhouse gas emissions: a case study in China
- 33 Dong *et al.* (2018) Life cycle assessment of pyrolysis, gasification and incineration waste-to-energy technologies: Theoretical analysis and case study of commercial plants
- 34 Falzon *et al.* (2013) Integrated waste management as a climate change stabilisation wedge for the Maltese islands
- 35 Fei *et al.* (2018) Mechanical biological treatment of municipal solid waste: Energy efficiency, environmental impact and economic feasibility analysis
- 36 Fernández-González *et al.* (2017) Economic and environmental review of Waste-to-Energy systems for municipal solid waste management in medium and small municipalities
- 37 Fernández-Nava *et al.* (2014) Life cycle assessment of different municipal solid waste management options: a case study of Asturias (Spain)
- 38 Ferronato *et al.* (2021) Integrated analysis for supporting solid waste management development projects in low to middle income countries: The NAVA-CE approach
- 39 Ferronato *et al.* (2021) Assessment of municipal solid waste collection in Bolivia: Perspectives for avoiding uncontrolled disposal and boosting waste recycling options
- 40 Ferronato *et al.* (2021) Sensitivity analysis and improvements of the recycling rate in municipal solid waste life cycle assessment: Focus on a Latin American developing context
- 41 Ferronato *et al.* (2020) Application of a life cycle assessment for assessing municipal solid waste management systems in Bolivia in an international cooperative framework
- 42 Fiorentino *et al.* (2015) Life Cycle Assessment of Mixed Municipal Solid Waste: Multi-input versus multi-output perspective

- 43 Habib *et al.* (2013) A historical perspective of Global Warming Potential from Municipal Solid Waste Management
- 44 Mirdar Harijani *et al.* (2022) Municipal solid waste recycling network with sustainability and supply uncertainty considerations
- 45 Haupt *et al.* (2018) Modular life cycle assessment of municipal solid waste management
- 46 Havukainen *et al.* (2017) Environmental impact assessment of municipal solid waste management incorporating mechanical treatment of waste and incineration in Hangzhou, China
- 47 Henriksen *et al.* (2019) Approaches to fill data gaps and evaluate process completeness in LCA-perspectives from solid waste management systems
- 48 Ibáñez-Forés *et al.* (2018) Temporal evolution of the environmental performance of implementing selective collection in municipal waste management systems in developing countries: A Brazilian case study
- 49 Kaazke *et al.* (2013) Environmental evaluation of waste treatment scenarios for the towns Khanty-Mansiysk and Surgut, Russia
- 50 Khandelwal *et al.* (2019) Life cycle assessment of municipal solid waste management options for India
- 51 Kouassi *et al.* (2022) Life Cycle Analysis and Cost-Benefit Assessment of the Waste Collection System in Anyama, Cote d'Ivoire
- 52 Levis *et al.* (2013) A generalized multistage optimization modeling framework for life cycle assessment-based integrated solid waste management
- 53 Li *et al.* (2015) Municipal solid waste management health risk assessment from air emissions for China by applying life cycle analysis
- 54 Li *et al.* (2015) Developing a Sustainability Assessment Model to Analyze China's Municipal Solid Waste Management Enhancement Strategy
- 55 Liao *et al.* (2023) Life cycle assessment of waste management in rural areas in the transition period from mixed collection to source-separation
- 56 Liikanen *et al.* (2017) Influence of different factors in the life cycle assessment of mixed municipal solid waste management systems - A comparison of case studies in Finland and China
- 57 Liikanen *et al.* (2018) Steps towards more environmentally sustainable municipal solid waste management - A life cycle assessment study of Sao Paulo, Brazil
- 58 Lima *et al.* (2018) Environmental assessment of existing and alternative options for management of municipal solid waste in Brazil
- 59 De Morais Lima *et al.* (2019) Life Cycle Assessment of prospective MSW management based on integrated management planning in Campo Grande, Brazil
- 60 Liu *et al.* (2017) An emergy-LCA analysis of municipal solid waste management
- 61 Liu *et al.* (2021) Application of life cycle assessment for municipal solid waste management options in Hohhot, People's Republic of China
- 62 Liu *et al.* (2017) Greenhouse gas emissions from municipal solid waste with a high organic fraction under different management scenarios
- 63 Maalouf *et al.* (2019) Life cycle assessment for solid waste management in Lebanon: Economic implications of carbon credit
- 64 Maalouf *et al.* (2018) Carbon footprint of integrated waste management systems with implications of food waste diversion into the wastewater stream
- 65 Mandpe *et al.* (2022) Life-cycle assessment approach for municipal solid waste management system of Delhi city
- 66 Pourreza Movahed *et al.* (2020) Multi-objective optimization of life cycle assessment of integrated waste management based on genetic algorithms: A case study of Tehran
- 67 Nabavi-Pelesaraei *et al.* (2017) Prognostication of energy use and environmental impacts for recycle system of municipal solid waste management
- 68 Nabavi-Pelesaraei *et al.* (2017) Modeling of energy consumption and environmental life cycle assessment for incineration and landfill systems of municipal solid waste management - A case study in Tehran Metropolis of Iran

- 69 Noya *et al.* (2018) Comparative environmental assessment of alternative waste management strategies in developing regions: A case study in Kazakhstan
- 70 Özer *et al.* (2021) Comparative life cycle analysis of municipal waste management systems: Kirklareli/Turkey case study
- 71 Paes *et al.* (2020) Municipal solid waste management: Integrated analysis of environmental and economic indicators based on life cycle assessment
- 72 Panepinto *et al.* (2015) Economic and environmental comparison between two scenarios of waste management: MST vs thermal treatment
- 73 Espinoza Pérez *et al.* (2021) Closing the gap in the municipal solid waste management between metropolitan and regional cities from developing countries: A life cycle assessment approach
- 74 Pongpunpurt *et al.* (2022) Studying Waste Separation Behaviors and Environmental Impacts toward Sustainable Solid Waste Management: A Case Study of Bang Chalong Housing, Samut Prakan, Thailand
- 75 Prajapati *et al.* (2021) An overview of municipal solid waste management in Jaipur city, India- Current status, challenges and recommendations
- 76 Pressley *et al.* (2015) Analysis of material recovery facilities for use in life-cycle assessment
- 77 Rajcoomar *et al.* (2017) Life cycle assessment of municipal solid waste management scenarios on the small island of Mauritius
- 78 Richard *et al.* (2021) Life cycle analysis of potential municipal solid wastes management scenarios in Tanzania: the case of Arusha City
- 79 Ripa *et al.* (2017) The relevance of site-specific data in Life Cycle Assessment (LCA). The case of the municipal solid waste management in the metropolitan city of Naples (Italy)
- 80 Roberts *et al.* (2018) SWIMS: A dynamic life cycle-based optimisation and decision support tool for solid waste management
- 81 Rodrigues *et al.* (2021) Application of the absolute environmental sustainability assessment framework to multifunctional systems - The case of municipal solid waste management
- 82 Bernstad Saraiva *et al.* (2017) Comparative lifecycle assessment of alternatives for waste management in Rio de Janeiro - Investigating the influence of an attributional or consequential approach
- 83 Sarigiannis *et al.* (2021) Life cycle assessment of municipal waste management options
- 84 Sauve *et al.* (2020) The environmental impacts of municipal solid waste landfills in Europe: A life cycle assessment of proper reference cases to support decision making
- 85 Sedpho *et al.* (2017) Conventional and exergetic life cycle assessment of organic rankine cycle implementation to municipal waste management: the case study of Mae Hong Son (Thailand)
- 86 Seigné Itoiz *et al.* (2013) CO2ZW: Carbon footprint tool for municipal solid waste management for policy options in Europe. Inventory of Mediterranean countries
- 87 Sharma *et al.* (2017) Life cycle assessment of potential municipal solid waste management strategies for Mumbai, India
- 88 Silva *et al.* (2021) Life-cycle assessment of municipal solid waste management options: A case study of refuse derived fuel production in the city of Brasilia, Brazil
- 89 Sisani *et al.* (2022) Environmental and energy performances of the Italian municipal solid waste incineration system in a life cycle perspective
- 90 Syeda *et al.* (2017) Life Cycle Assessment Modelling of Greenhouse Gas Emissions from Existing and Proposed Municipal Solid Waste Management System of Lahore, Pakistan
- 91 Tagliaferri *et al.* (2016) Life cycle assessment of conventional and advanced two-stage energy-from-waste technologies for methane production

- 92 Prateep Na Talang *et al.* (2021) Environmental and financial assessments of open burning, open dumping and integrated municipal solid waste disposal schemes among different income groups
- 93 Taşkın *et al.* (2020) Life cycle environmental and energy impact assessment of sustainable urban municipal solid waste collection and transportation strategies
- 94 Thushari *et al.* (2020) Material flow analysis and life cycle assessment of solid waste management in urban green areas, Thailand
- 95 Tomić *et al.* (2017) Municipal solid waste system analysis through energy consumption and return approach
- 96 Tulokhonova *et al.* (2013) Assessment of municipal solid waste management scenarios in Irkutsk (Russia) using a life cycle assessment-integrated waste management model
- 97 Turner *et al.* (2016) Combined material flow analysis and life cycle assessment as a support tool for solid waste management decision making
- 98 Aranda Usón *et al.* (2013) Environmental-benefit analysis of two urban waste collection systems
- 99 Viau *et al.* (2020) Substitution modelling in life cycle assessment of municipal solid waste management
- 100 Vinitaskaia *et al.* (2021) Life cycle assessment of the existing and proposed municipal solid waste management system in Moscow, Russia
- 101 Wang *et al.* (2020) Life cycle assessment of municipal solid waste management in Nottingham, England: Past and future perspectives
- 102 Wang *et al.* (2022) Assessing the transition of municipal solid waste management by combining material flow analysis and life cycle assessment
- 103 Wang *et al.* (2021) Life-Cycle Assessment of a Regulatory Compliant US Municipal Solid Waste Landfill
- 104 Wang *et al.* (2021) Development of Streamlined Life-Cycle Assessment for the Solid Waste Management System
- 105 Wang *et al.* (2020) Environmental and economic performance of an integrated municipal solid waste treatment: A Chinese case study
- 106 Yadav *et al.* (2018) Environmental impact assessment of municipal solid waste management options using life cycle assessment: a case study
- 107 Erses Yay *et al.* (2015) Application of life cycle assessment (LCA) for municipal solid waste management: a case study of Sakarya
- 108 Zhao *et al.* (2018) Resource impacts of municipal solid waste treatment systems in Chinese cities based on hybrid life cycle assessment
- 109 Zhou *et al.* (2018) Environmental performance evolution of municipal solid waste management by life cycle assessment in Hangzhou, China