



Eficiência na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Revisão Bibliométrica dos Últimos 20 Anos

Nájila Sena da Silva

Doutoranda, UEFS, Brasil
najilasil@gmail.com

Edson Eyji Sano

Pesquisador, Embrapa Cerrados, Brasil.
edson.sano@embrapa.br

Joselisa Maria Chaves

Professora Doutora, UEFS, Brasil.
joselisa@uefs.br

Recebido: 13 de abril de 2024

Aceito: 16 de setembro de 2024

Publicado online: 20 de novembro de 2024

DOI: **10.17271/1980082720420245245**

<https://doi.org/10.17271/1980082720420245245>

Licença

Copyright (c) 2024 Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista



Este trabalho está licenciado sob uma licença Creative Commons Attribution 4.0 International License

Eficiência na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Revisão Bibliométrica dos Últimos 20 Anos

RESUMO

A geração de resíduos sólidos representa um desafio mundial, pois a complexidade dos materiais e dos métodos empregados para o seu descarte, tais como o aterro sanitário e a incineração, não garantem a redução na fonte e ainda contribuem para emissão de gases do efeito estufa. É fundamental que os países adotem sistemas de avaliação da gestão de resíduos sólidos, a fim de monitorar os serviços, estabelecer metas e desenvolver projetos adequados para garantir a qualidade ambiental. Este estudo propõe investigar a literatura científica para identificar os métodos de avaliação da gestão de resíduos sólidos empregados em diferentes países ao redor do mundo. O objetivo desta pesquisa é mapear as principais tendências de publicações científicas sobre avaliação da gestão de resíduos sólidos urbanos. A base de dados Scopus foi utilizada para realizar a pesquisa bibliográfica e a bibliometria foi empregada para identificar a evolução científica de artigos publicados sobre o tema. Foram utilizadas ferramentas de gráficos, como pacote Bibliometrix do R e o software VOSviewer, para gerar mapas de redes. Os resultados destacam a China como país com maior produtividade e citações. A revista Waste Management apresenta o maior número de artigos sobre o tema. Os autores mais relevantes foram Bovea MD, Medeiros GA e Mancini SD. As redes de palavras identificaram a evolução dos temas pesquisados ao longo das décadas. Nos métodos empregados na análise de 10% dos artigos, predominou a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida. Entre esses, os cenários de reciclagem e compostagem foram os mais adequados ambientalmente a serem empregados nos sistemas de gestão municipais.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão de Resíduos Sólidos. Avaliação. Resíduos Sólidos Municipais. Bibliometria.

Efficiency in Municipal Solid Waste Management: A Bibliometric Review of the Last 20 Years

ABSTRACT

The generation of solid waste represents a global challenge, as the complexity of materials and the methods used for disposal, such as landfills and incineration, do not ensure reduction at the source and contribute to greenhouse gas emissions. It is essential that countries adopt solid waste management assessment systems to monitor services, establish goals, and develop appropriate projects that ensure environmental quality. This study proposes to investigate the scientific literature to identify methods of solid waste management assessment used across different countries. The objective of this research is to map the main trends in scientific publications on the assessment of urban solid waste management. A bibliographic search was conducted using the Scopus database, and bibliometric analysis was applied to track the scientific evolution of articles on the subject. Graphic tools, including the R Bibliometrix package and VosViewer software, were used to generate network maps. The results highlight China as the most productive country in terms of publications and citations. The Waste Management journal featured the largest number of articles on this topic, and the most influential authors were Bovea MD, Medeiros GA, and Mancini SD. Word networks revealed the evolution of research topics over the decades. Among the methods analyzed in 10% of the articles, the Life Cycle Assessment (LCA) methodology was predominant. Within this framework, recycling and composting were identified as the most environmentally suitable scenarios for use in municipal management systems.

KEYWORDS: Solid Waste Management. Assessment. Municipal Solid Waste. Bibliometrics.

Eficiencia en la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos: Una Revisión Bibliométrica de los Últimos 20 Años

RESUMEN

La generación de residuos sólidos representa un desafío global, ya que la complejidad de los materiales y los métodos empleados para su disposición, como el vertedero sanitario y la incineración, no garantizan la reducción en la fuente y además contribuyen a la emisión de gases de efecto invernadero. Es fundamental que los países adopten sistemas de evaluación de la gestión de residuos sólidos para monitorear los servicios, establecer metas y desarrollar proyectos adecuados que garanticen la calidad ambiental. Este estudio propone investigar la literatura científica para identificar los métodos de

evaluación de la gestión de residuos sólidos empleados en diferentes países del mundo. El objetivo de esta investigación es mapear las principales tendencias de publicaciones científicas sobre la evaluación de la gestión de residuos sólidos urbanos. Se utilizó la base de datos Scopus para realizar la búsqueda bibliográfica, y la bibliometría se empleó para identificar la evolución científica de los artículos publicados sobre el tema. Se utilizaron herramientas gráficas como el paquete Bibliometrix de R y el software VOSviewer para generar mapas de redes. Los resultados destacan a China como el país con mayor productividad y citas. La revista *Waste Management* presenta el mayor número de artículos sobre el tema. Los autores más relevantes fueron Bovea MD, Medeiros GA y Mancini SD. Las redes de palabras identificaron la evolución de los temas investigados a lo largo de las décadas. Entre los métodos empleados en el análisis del 10% de los artículos, predominó la metodología de Evaluación del Ciclo de Vida. Entre estos, los escenarios de reciclaje y compostaje fueron los más adecuados ambientalmente para ser implementados en los sistemas de gestión municipales.

PALABRAS CLAVE: Gestión de Residuos Sólidos. Evaluación. Residuos Sólidos Municipales. Bibliometría.

1 INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos está entre os desafios globais para a sustentabilidade (RAHAMAN et al., 2022), pois representa um sistema complexo e dinâmico que envolve toda a gestão do ciclo de vida e as múltiplas partes interessadas, como produtores, consumidores, reguladores e recicladores (YANG et al., 2023). A organização e eficiência do sistema de gestão dos resíduos sólidos está relacionado ao nível de desenvolvimento do país. Países desenvolvidos adotam estratégias para reciclar resíduos e minimizar o impacto no meio ambiente, enquanto os países em desenvolvimento ainda enfrentam problemas como descarte irregular de resíduos e a presença de lixões (CHOWDHURY; BAKSH, 2020).

As autoridades e os atores envolvidos na gestão de resíduos devem estar atentos aos problemas que podem ser desencadeados pelo descarte irregular dos resíduos. A poluição por plásticos e o gerenciamento inadequado refletem em impactos ambientais, danos financeiros e sociais (FERRONATO; TORRETTA, 2019; JACOBI; BESEN, 2011).

Os municípios, responsáveis pela gestão dos resíduos, enfrentam o desafio de fornecer um sistema eficaz e eficiente aos habitantes. Portanto, é necessário um planejamento multidimensional que considere os aspectos econômicos, ambientais e sociais (GUERRERO; MAAS; HOGLAND, 2013). Ademais, é crucial estabelecer uma gestão integrada para reduzir, mitigar, evitar ou mesmo eliminar os problemas relativos aos resíduos sólidos (ALVES; LEHFELD; CONTIN, 2021), com base nos pilares da sustentabilidade (MARSHALL; FARAHBAKSH, 2013).

Apenas aumentar os padrões ambientais não é suficiente; é necessária uma abordagem integrada para a gestão de resíduos, utilizando metodologias de avaliação para compreender o atual cenário dos resíduos municipais, identificar as lacunas e propor melhorias no sistema (WILSON, 2007). A gestão integrada deve considerar todas as etapas, desde a geração até a disposição, uma vez que decisões tomadas em relação a um elemento têm influência sobre todos os demais (PEREIRA; CURI; CURI, 2018). O uso de ferramentas de avaliação da gestão municipal dos resíduos urbanos apontará a situação atual das políticas no âmbito local e poderá contribuir de forma mais assertiva nos problemas identificados, propondo melhorias no sistema e ações para uma gestão mais sustentável (CETRULO et al., 2020; CHAVES; SIMAN; SENA, 2020; HARBACHE; CÉSAR; MOZER, 2023).

Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) propõem metas que contemplam a gestão de resíduos sólidos (ODS 6, 7, 11, 12 e 13) a partir de mudanças de paradigma da economia linear baseada na produção e no uso excessivo dos recursos, para uma economia circular fundamentada nos três pilares do desenvolvimento sustentável: desenvolvimento econômico, inclusão social e proteção ambiental (SHARMA et al., 2021).

Diante da percepção da complexidade da gestão de resíduos sólidos, dos desafios para as cidades e da importância diante da questão ambiental, social e econômica, este estudo tem como objetivo compreender o avanço das pesquisas sobre a temática da avaliação da gestão de resíduos sólidos. Para isso, será utilizada a metodologia de mapeamento científico, por meio da bibliometria, a fim de analisar a evolução científica sobre o tema.

A bibliometria consiste em mapear o conhecimento científico cumulativo e as nuances evolutivas de campos estabelecidos, analisando as relações sociais e estruturais entre diferentes constituintes da pesquisa (DONTU et al., 2021). A sua utilidade está na análise de desempenho, permitindo avaliar objetivamente a produtividade e o impacto da pesquisa (MUKHERJEE et al., 2022).

A bibliometria enquanto técnica de análise contribui para a difusão do conhecimento científico. Para esta pesquisa o uso da bibliometria buscou evidenciar como os métodos de avaliação da gestão de resíduo sólido contribuem na eficiência das políticas públicas.

2 OBJETIVOS

O objetivo desta pesquisa consiste em mapear as principais tendências de publicações científicas sobre avaliação da gestão de resíduos sólidos urbanos. Para alcançar esse propósito, foram estabelecidos os seguintes questionamentos: (1) Como a produção científica evoluiu ao longo do tempo? (2) Quais universidades se destacam na produção científica? (3) Quais são os periódicos mais relevantes na publicação da gestão de resíduos sólidos? e (4) Quais são os principais autores e países a publicar sobre o tema?

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa adotou a abordagem bibliométrica, acrescida pela análise de conteúdo de um conjunto de artigos selecionados, para compreender o panorama mundial da avaliação da gestão de resíduos sólidos. A abordagem bibliométrica permite uma amostragem quantitativa da produção acadêmica sobre o tema pesquisado, como instituições, países, periódicos, citações, autores, palavras-chaves.

3.1 Estratégia de Pesquisa

O banco de dados utilizado foi o Scopus, devido à sua grande abrangência de artigos indexados em sua base, que inclui informações sobre autores, endereços institucionais e referências bibliográficas de cada artigo (MONGEON; PAUL-HUS, 2016). O Scopus é um banco de dados produzido pela Elsevier para fornecer acesso a artigos de periódicos e às referências, desde o ano de 1966 (BURNHAM, 2006). Esta base contribui para que os pesquisadores de diversas áreas identifiquem publicações científicas de diversos países do mundo.

Para identificar os artigos publicados sobre avaliação da gestão de resíduos sólidos, foram realizados testes com conjunto de palavras e sinônimos até se chegar em um resultado adequado para responder as perguntas da pesquisa. Foram inseridos os conectores booleanos AND para buscar a soma dos termos e OR para buscar a intercessão entre o conjunto dos termos. O período de busca das publicações na base Scopus foi do ano de 1970 até o ano de 2022, para publicações de artigos científicos na língua inglesa. A seleção final da *string* de pesquisa incluiu um conjunto de palavras-chaves (Tabela 1) e apresentou um retorno de publicações satisfatório para responder as questões da pesquisa.

A partir do resultado das publicações no Scopus, foi realizado uma segunda etapa de triagem das publicações de acordo com a relação com o objetivo e perguntas de pesquisa. Foram lidos os títulos, resumos e palavras-chave de todos os artigos, e um subconjunto 10% dos artigos foi selecionado para ser analisado com base nos elementos da revisão sistemática.

Tabela 1 - Termos e palavras chaves pesquisados

Etapas	String de Pesquisa
Definição	TITLE-ABS-KEY (("solid waste") AND ("management" OR "urban management" OR "integrated management" OR "municipal management" OR "sustainable management") AND ("assessment" OR "assessment management" OR "assessment sustainability") AND ("indicator*" OR "index" OR "methodolog*")) AND PUBYEAR < 2023 AND (LIMIT-TO (SRCTYPE , "j")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))
Triagem	Leitura do título e resumo para selecionar os artigos de interesse da pesquisa.

Fonte: Autores (2023)

3.1.2 Análise de Dados

A terceira etapa metodológica consistiu em gerar tabelas, gráficos e mapas que abordam estatísticas gerais da publicação, evolução das publicações científicas, evolução das citações, instituições, periódicos, autores e colaboração entre países e autores. Esses elementos foram elaborados por meio da extensão Bibliometrix no *software* R Studio (CUCCURULLO; ARIA; SARTO, 2016).

O estudo bibliométrico identificou número de publicações, instituições, periódicos, autores e países, além do mapeamento de palavras-chaves dos artigos por década, para compreender a evolução dos termos e temas abordados ao longo do tempo.

Para compreender a correlação entre países, autores e citações, foi utilizado o *software* VOSviewer para construir mapa de redes e fluxos. O VOSviewer é um programa para a construção e visualização de mapas bibliométricos, seja dos autores, periódicos, cocitação palavras-chave (VAN ECK; WALTMAN, 2010).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados gerais da pesquisa retornaram 1.109 artigos entre os anos de 1978 e 2022. Em seguida, foi feito um refinamento da pesquisa para eleger os artigos que abordavam a relação entre avaliação da gestão de resíduos sólidos e sustentabilidade, resultando na escolha de 249 artigos para realizar a análise bibliométrica.

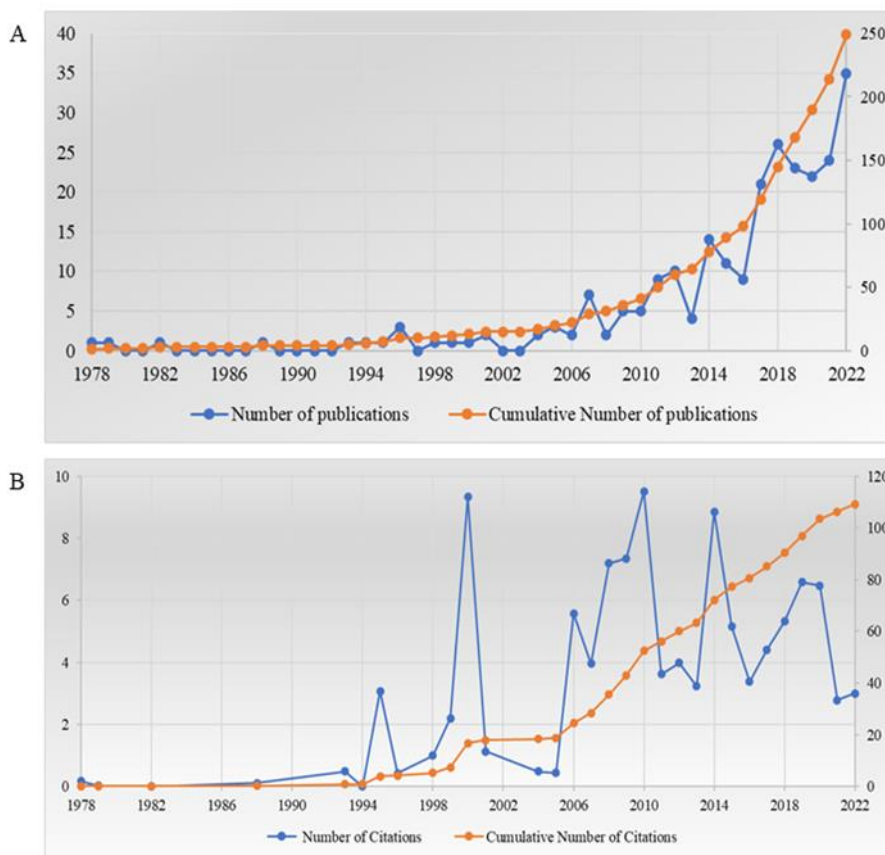
As informações gerais sobre os documentos indicaram um total de 249 artigos publicados no período de 1978 até 2022, com taxa de crescimento anual de 8,4% e média de citações de 35,8. Esses artigos foram elaborados por 838 autores e publicados em 93 revistas. Apenas 15 documentos têm autoria única, enquanto os demais artigos apresentam a média de 3,7 autores e uma taxa de coautoria internacional de 26,5%.

4.1 Publicações e Citações

O conjunto dos artigos publicados apresentou a média de 5,3 artigos por ano, com um desvio padrão de 8,6 (Figura 1). Os primeiros artigos a tratar sobre gestão de resíduos sólidos datam de 1978. Ao longo do tempo, observou-se uma tendência crescente e uma evolução na publicação de artigos. O pico de publicações ocorreu a partir dos anos de 2017 (21 artigos), 2018 (26), 2019 (23), 2020 (22), 2021 (24) e 2022 (25).

O ano de 2022 apresentou uma tendência crescente de publicações sobre o tema. Este resultado pode ser comparado com os estudos de Bijos et al. (2022) e Yang et al. (2023) que encontraram o maior pico de artigos sobre resíduos sólidos e avaliação do ciclo de vida no ano de 2023. Os documentos mais citados não seguem o padrão de evolução ao longo dos anos. Os artigos de 1995, 1996, 2000, 2006, 2009 apresentam maior pico na média de citações, o que revela que as primeiras publicações são referências e bases para elaboração dos artigos para as décadas seguintes.

Figura 1 - Total de publicações de artigos de 1978 até 2022 (A) e número de citações de 1978 até 2022 (B)



Fonte: Autores (2023).

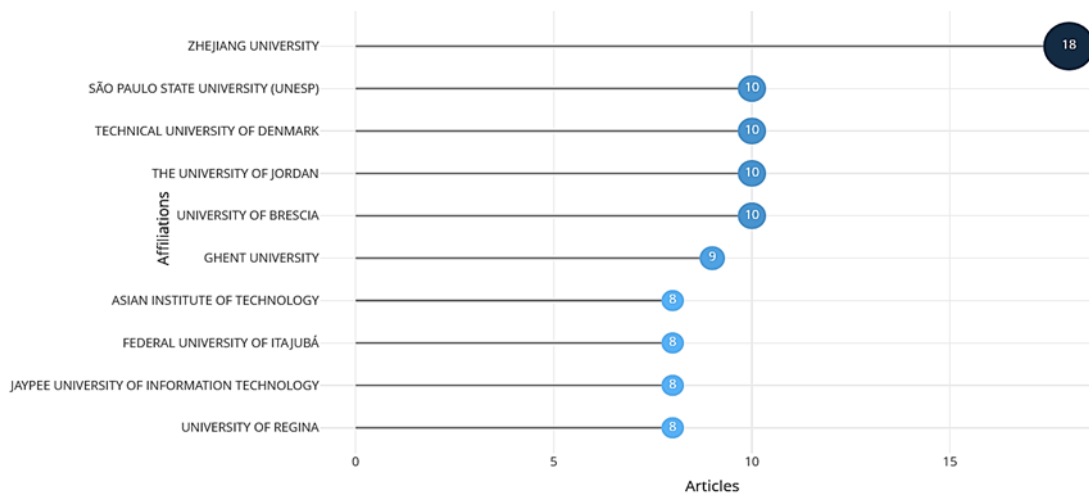
4.1.2 Instituições e Periódicos Relevantes

As instituições mais relevantes foram as universidades de Zhenjiang (China), com 18 publicações, seguida das universidades de São Paulo (Brasil), Técnica (Dinamarca), Jordânia (Jordânia) e Bréscia (Itália), com 10 publicações em cada instituição (Figura 2). As universidades de Gante (Bélgica), Instituto Asiático de Tecnologia (Tailândia), Federal de Itajubá (Brasil), Instituto Jaypee de Tecnologia da Informação (Japão) e Regina (Canadá) apresentaram oito publicações. Dentre as instituições mais relevantes, as universidades chinesas foram as que mais se destacaram, seguidas pelo Brasil como o país da América Latina com maior destaque.

Dentre os periódicos mais relevantes (Figura 3), destacaram-se as revistas Waste Management (28 publicações), Journal of Cleaner Production (27), Waste Management and Research (23), Resources Conservation and Recycling (15), Sustainability (Switzerland) (9), Environmental Science and Pollution Research (7), International Journal of Life Cycle Assessment (7), Journal of Material Cycles and Waste Management (7), Journal of Environmental Management (6) e Management of Environmental Quality: An International Journal (6).

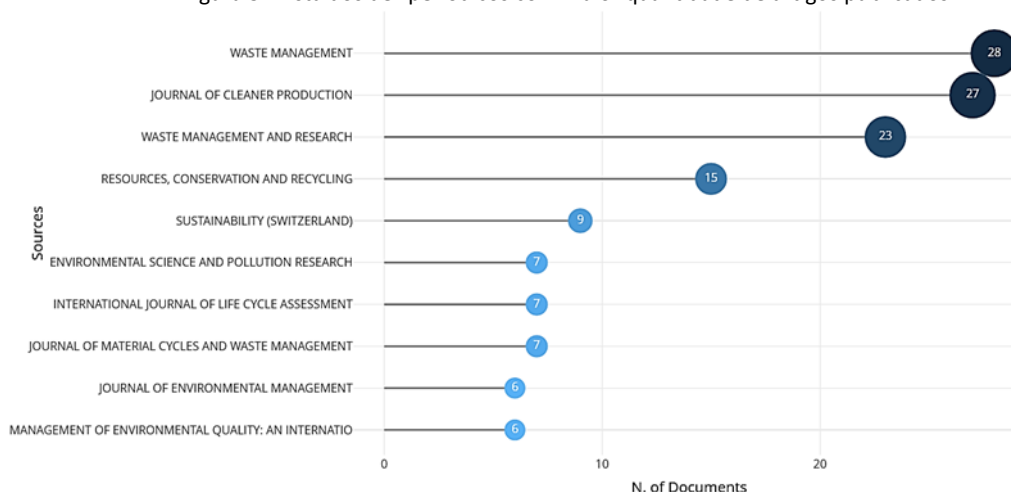
Os três periódicos mais proeminentes em termos de citações foram o Waste Management (8.816 citações), Journal of Cleaner Production (11.072) e Waste Management and Research (4.432). Os resultados da pesquisa de Bijos et al. (2022) e Yang et al. (2023) destacaram os periódicos Journal of Cleaner Production, Resources Conservation and Recycling e Waste Management como os mais citados.

Figura 2 - Lista das dez Instituições mais relevantes nas publicações de artigos



Fonte: Autores (2023).

Figura 3 - Lista dos dez periódicos com maior quantidade de artigos publicados



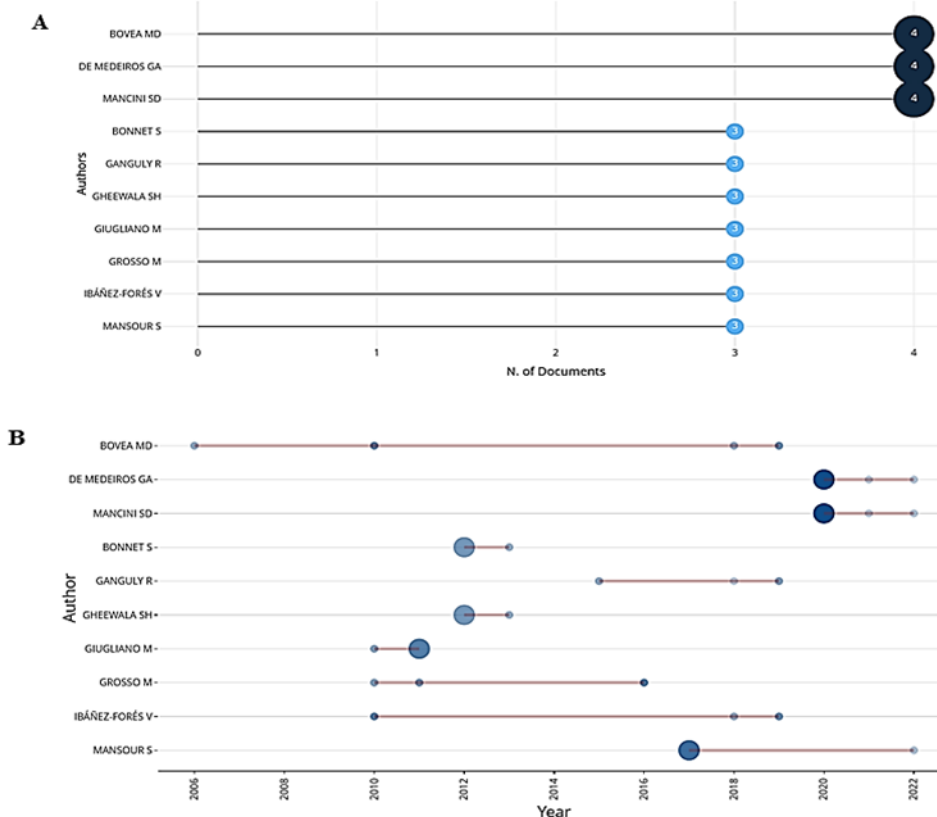
Fonte: Autores (2023).

O Journal of Cleaner Production apresentou o maior fator de impacto e é uma revista internacional que aborda temas relacionados à produção mais limpa e sustentabilidade ambiental. A Waste Management é uma revista internacional que trata da gestão integrada de resíduos, ciência e tecnologia, com publicações nas áreas de resíduos sólidos e meio ambiente. Por sua vez, a revista Waste Management and Research é voltada para publicações nas áreas de gestão de resíduos, planejamento, governo e engenharias.

4.1.3 Autores Relevantes e Produção Científica

Ao observar o conjunto de 249 artigos, foram identificados 838 autores com uma média de 3,7 autores por documento (Figura 4). Em relação aos autores e publicações sobre resíduo sólido, destacam-se Bovea MD (4), Medeiros GA (4), Mancini SD (4), seguidos dos autores Bonet S (3), Ganguly R (3), Gheewala SH (3), Gugliano M (3), Grosso M (3), Ibanéz-Forés V (3) e Mansour R (3).

Figura 4 - Lista de autores mais relevantes (A) e as correspondentes produções ao longo das décadas (B).



Fonte: Autores (2023).

Medeiros GA e Mancini SD apresentam a maior publicação de artigos. A produção desses autores começa a partir de 2020, seguidos dos autores Mansour S, cuja produção se iniciou em 2017, e Gugliano M e Bonnet S, também a partir de 2017. Bovea MD apresentou publicações desde 2006 até 2018, seguido por Ibanéz-Fóresz V, de 2010 até 2020, e Grosso M, de 2010 até 2016. É possível observar uma continuidade de estudos e publicações dos autores ao longo das décadas.

4.1.4 Os Países mais Citados

O mapa de rede de colaboração entre os países (Figura 5) destaca a China (11), Brasil (10), Itália (7), Reino Unido (7), Espanha (6), Estados Unidos (5), França (4) e Iran (4) com maior frequência de publicação e de citação dos países. Tanto a China quanto o Brasil lideram o *ranking* de publicações sobre a gestão de resíduos sólidos, bem como de universidades.

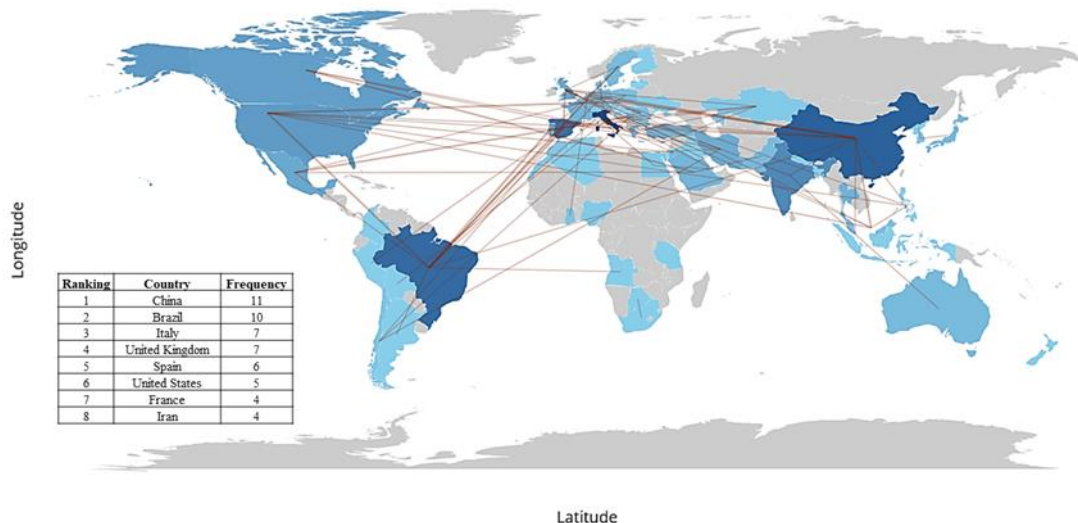
4.2 Redes de Co-Ocorrência de Palavras por Décadas e Rede Geral de Termos

A rede de co-ocorrência de palavras-chave é um importante instrumento de análise para entender a evolução dos termos e temas pesquisados. Como pode ser observado na Figura 6, foi elaborada uma rede de termos dos artigos por décadas: 1970, 1980, 1990, com frequência mínima de uma citação por palavra nos documentos; e 2000, 2010 e 2020, com frequência mínima de duas citações da palavra nos documentos.

Na década de 1970 (Figura 7), foi obtida uma rede única de relação entre nós, com 32 termos. As palavras mais relevantes foram disposição, proteção do ambiente, potencial de

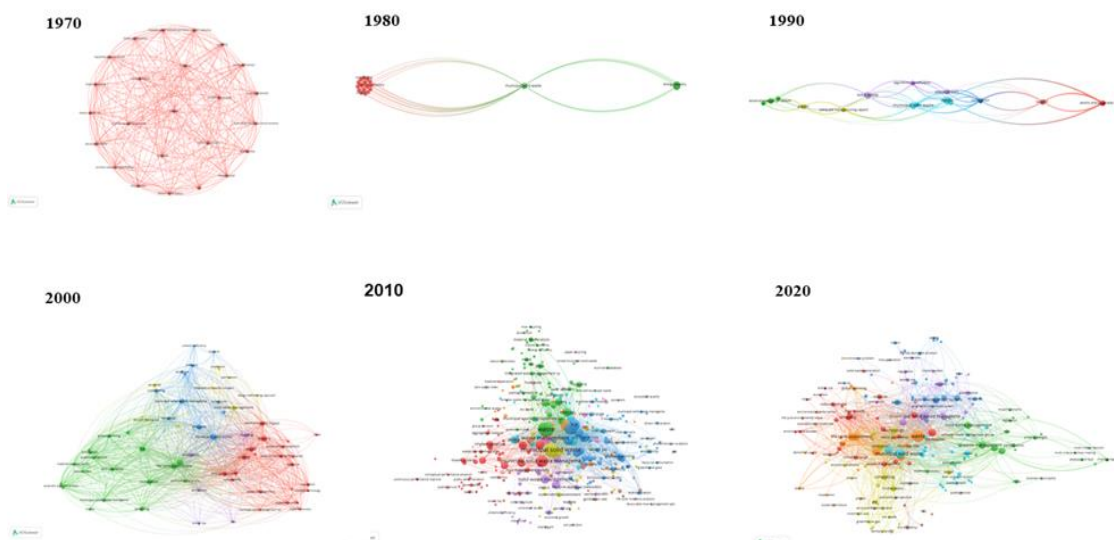
perigo, resíduos sólidos perigosos, metal pesado, íon de metais pesados, ambiente de disposição hidrológica, indústria, uso do solo e lixiviação.

Figura 5 - Mapa de colaboração entre os países nos artigos publicados



Fonte: Autores (2023).

Figura 6 - Rede de co-ocorrência de palavras citadas no título, resumo e texto por décadas

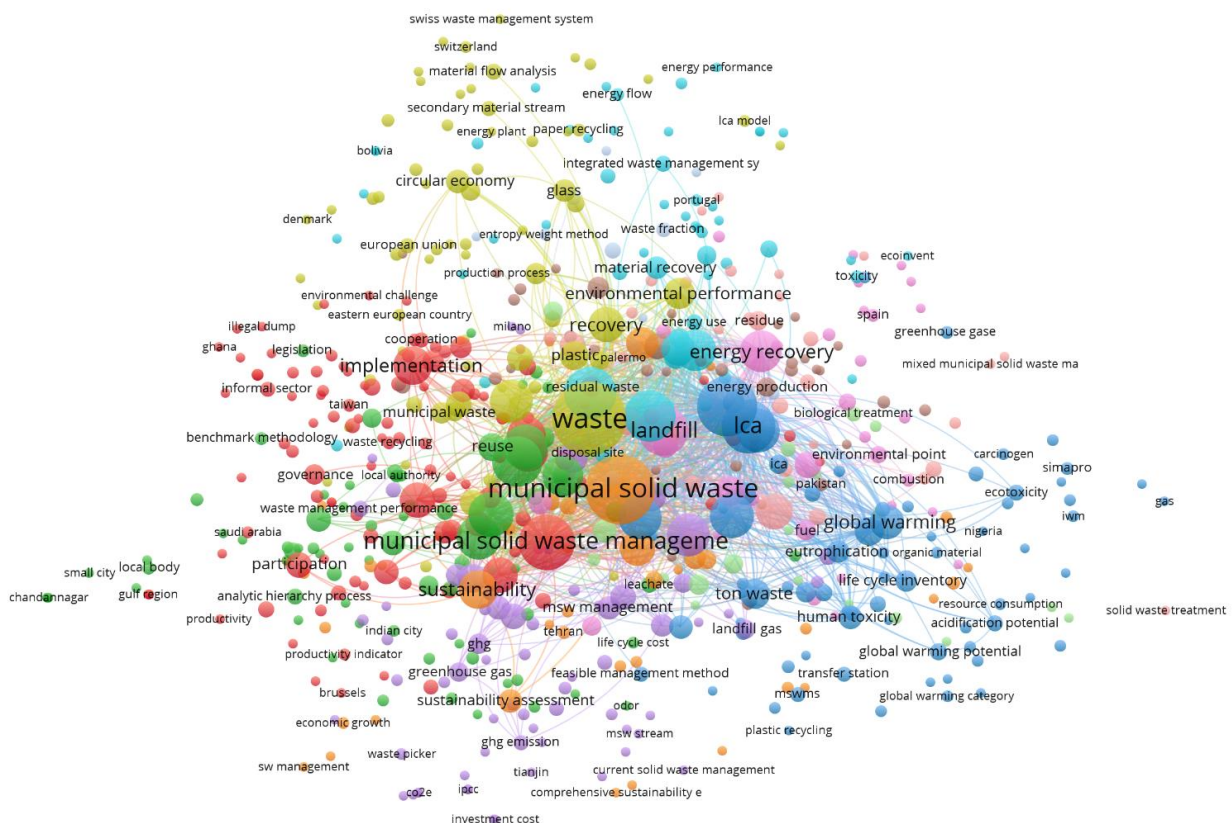


Fonte: Autores (2023).

A rede da década de 1980 apresenta dois agrupamentos com 26 termos. As palavras mais relevantes foram carbono, recuperação de composto, compostagem, esforço de desenvolvimento, indicador econômico, uso do solo, compostagem mecanizada, teor de umidade, variação da razão de nitrogênio e instalações piloto de mecanização, destacando-se a relação entre os resíduos orgânicos e a implantação de sistemas de compostagem. Já é perceptível o uso de indicador econômico como ferramenta de avaliação.

A rede da década de 1990 apresentou seis agrupamentos com 102 termos. As palavras mais relevantes foram classificação algorítmica, composto carcinogênico, avaliação genérica de riscos, resíduos industriais perigosos, fluxo de resíduos de alta toxicidade relativa, baixo escore tóxico, resíduos industriais não perigosos, lei de recuperação, conservação de recursos e resíduos de repouso. Os temas estão voltados para a preocupação com os resíduos industriais e seu potencial tóxico e cancerígeno, além do destaque para a lei de recuperação e a importância de conservar os recursos naturais.

Figura 7 - Rede de co-ocorrência geral de palavras-chaves



Fonte: Autores (2023).

Na década de 2000, a rede já apresentou uma relação maior entre os termos, com cinco agrupamentos e 69 termos. As palavras mais relevantes foram eutrofização, reciclagem de materiais, uso de energia, consumo de energia, desenvolvimento sustentável, ferramenta de tomada de decisão, recurso, gás de aterro, análise de ciclo de vida e recuperação. Nesta década, destacaram-se os termos relacionados à recuperação dos resíduos para produção energética e reciclagem e, como método de avaliação, a análise do ciclo de vida.

A rede da década de 2010 foi aquela que apresentou maior relação e proximidade entre os termos, estando próximos ao eixo central, com 10 agrupamentos e 380 termos. As palavras mais relevantes foram papelão, biorresíduos, gestão sustentável de resíduos, sistema de resíduos, separação de resíduos, Itália, Kuaite, Romênia, processo de hierarquia analítica e avaliação econômica. Percebeu-se a relação dos países com a gestão sustentável dos resíduos sólidos, com destaque para os biorresíduos, além dos métodos de hierarquia analítica e avaliação.

Para a década de 2020, observou-se que a rede se ampliou além do eixo central, com oito agrupamentos e 191 termos. As palavras mais relevantes foram emissão de gases de efeito estufa, participação, resíduos de demolição, sistema de coleta de porta, papelão, saúde humana, modelo de rede neural, Índia e governança indicador ambiental. Os termos governança, participação da população, modelo de rede neural e indicador ambiental revelam as tendências atuais do campo científico para o tema.

A rede geral de co-ocorrência de palavras-chaves destacou os termos com frequência mínima de duas citações nos documentos, resultando em um total de 638 termos agrupados em 12 grupos. As palavras com maior escore de relevância foram incinerador, eficiência de coleta, sistema de coleta de resíduos, ODS, biorresíduos, questão de sustentabilidade global, impacto ambiental no ciclo de vida, sistema sustentável de gestão de resíduos sólidos, futuro sustentável e estratégia de gestão sustentável de resíduos. Esses termos destacam a questão da sustentabilidade, por exemplo, os ODS como estratégias para a gestão de resíduos sólidos. Além disso, foram abordadas técnicas como a incineração dos resíduos para minimizar os impactos e a disposição dos resíduos em aterros sanitários, bem como a importância da eficiência no sistema de coleta de resíduos sólidos.

4.3 Análise Sistemática

Dos 249 artigos, foram selecionados 10% dos documentos, totalizando 25 artigos, para análise por décadas. Estes 25 artigos apresentam 95 autores, 422 palavras-chaves, com uma média de 113.1 citação por documento. As palavras mais frequentes nos artigos foram reciclagem, gestão de resíduo e resíduos sólidos municipais. Das 49 instituições identificadas, destacou-se o *network* e a rede de colaboração entre autores de diferentes instituições. Os países com maior frequência de produção foram o Brasil, a Suécia e a Dinamarca. Os periódicos de destaque foram o *Journal of Clean Production* com sete artigos, seguidas da *Waste Management* com cinco artigos e *Resources Conservation and Recycling*, com quatro artigos.

Os artigos selecionados (Tabela 2) abrangem o limite geográfico dos continentes europeu, asiático, americano e africano, além da Oceania. Quanto ao recorte espacial, os países com maior abrangência foram o Brasil e a Turquia com três artigos, seguido de Canadá, Estados Unidos e União Europeia, com dois artigos e da Austrália, China, Egito, Espanha, Hong Kong, Itália, México, Região Nórdica, Reino Unido, Suécia, Suíça, Tailândia, Taiwan, com um artigo.

Tabela 2 - Artigos selecionados para análise bibliométrica, discriminados por país, continente ou região e método

Década	País	Método	Autores
1970	Canadá	Modelo simples de tomada de decisão	Ingraham; Zechel (1979)
1980	Egito	Compostagem	El-Halwagi et al. (1988)
1990	Estados Unidos Suécia Hong Kong Taiwan Canadá Estados Unidos	Metodologia de Fluxo de Materiais Avaliação do Ciclo de Vida GRSU Avaliação da Gestão Ambiental Modelo de Gestão de Risco Ambiental Auditoria de Resíduos Sólidos Avaliação do Ciclo de Vida GRS	Barlaz; Haynie; Overcash (1993) Finnveden (1999) Barron; Ng (1996) Chang; Wang (1996) Dowie; McCartney; Tamm (1998) Weitz et al. (1999)
2000	Reino Unido Turquia China Tailândia Turquia Itália	Avaliação do Ciclo de Vida GRSU Avaliação do Ciclo de Vida GRS Avaliação do Ciclo de Vida GEE Avaliação dos Sistemas de Reciclagem Avaliação do Ciclo de Vida GRSU Avaliação do Ciclo de Vida Impactos Ambientais	Clift; Doig; Finnveden (2000) Özeler; Yetiş; Demirer (2006) Zhao et al (2009) Suttibak; Nitivattananon (2008) Banar; Cokaygil; Ozkan (2009) Feo; Malvano (2009)
2010	Europa Espanha Brasil Austrália Turquia Suíça	Avaliação do Ciclo de Vida GR Plástico Avaliação Ambiental GRSU AVC Recuperação Energética Índice de Desperdício Zero Avaliação do Ciclo de Vida GRS Análise de Fluxo de Materiais GR	Lazarevic et al. (2010) Bovea et al. (2010) Leme et al. (2014) Zaman (2014) Erses Yay (2015) Haupt; Vadenbo; Hellweg (2017)
2020	Brasil Brasil Região Nórdica México União Europeia	AVC e Ciclo de vida de Custeio Indicador Agregado de Impacto Ambiental Avaliação do Ciclo de Vida GRS Indicadores Técnicos GRS Rede Neural geração de resíduo plástico	Paes et al. (2020) Deus et al. (2020) Behzad et al. (2020) Olay-Romero et al. (2020) Fan et al. (2022) Wang et al. (2020)

Fonte: Autores (2023).

Com relação aos métodos propostos para avaliar a gestão de resíduo sólidos na década de 1970, elngraham; Zechel (1979) utilizaram um modelo de tomada de decisão para avaliar os danos de poluentes da água, ar e resíduos sólidos eno Canadá. Na década de 1980, El-Halwagi (1988) propôs o uso da compostagem com leira e mecanizada para os resíduos orgânicos no Egito como alternativa de tratamento em substituição à deposição em aterro.

Para a década de 1990, foi possível perceber estruturas de avaliação do potencial de reciclagem dos resíduos na Carolina do Norte (EUA), a avaliação do ciclo de vida para calcular as emissões potenciais da deposição de resíduos urbanos e industriais em aterro sanitário, a avaliação da gestão ambiental e de resíduos na cidade de Hong Kong, a avaliação de risco ambiental da disposição dos resíduos sólidos em Taiwan, a auditoria da gestão ambiental dos resíduos sólidos no Canadá e a avaliação do ciclo de vida para a geração de resíduos sólidos nos EUA.

No Canadá, Dowie et al. (1998) realizaram uma auditoria ambiental para resíduos sólidos em empresas, destacando a importância de aplicar métodos de gestão ambiental para reduzir a geração de resíduos na fonte e ampliar os programas de reciclagem. Barlaz et al. (1993), ao aplicarem a metodologia de fluxo de materiais para os plásticos, identificaram que garrafas de bebidas pet são os plásticos mais reciclados nos Estados Unidos, como resultado das leis rígidas em 10 estados americanos. Weitz (1999), ao avaliar o ciclo de vida nos EUA, identificou que o cenário de Redução na Fonte + Coleta + Transporte + Aterro foi o mais viável para a gestão de resíduos, devido ao processo de redução na fonte e posterior reciclagem dos materiais triados. Na Suécia, Finnveden (1999), ao realizar a avaliação do ciclo de vida, destacou que as

emissões potenciais de CO₂ provenientes de aterros sanitários são a maior fonte de gases de efeito estufa, por ser um sistema aberto a entrada de elementos como água e ar lixiviado, contribuindo para que o aterro gere impactos ambientais.

Barron e Ng (1996) destacaram que Hong Kong, devido ao crescimento econômico e à mudanças nos padrões de consumo, enfrenta desafios significativos na gestão de resíduos sólidos, com uma produção elevada de resíduos, principalmente o plástico. Em Taiwan, Chang e Wang (1996) destacaram a importância da recuperação de papéis, vidros, metais, plásticos e eletricidade para controlar os impactos provenientes da poluição do ar por incineradores e do lixiviado de aterros sanitários.

Na década de 2000, os artigos abordaram os temas da avaliação do ciclo de vida para a gestão integrada dos resíduos sólidos no Reino Unido, avaliação do ciclo de vida para determinar sistema de gestão de resíduos sólidos na Turquia, avaliação do ciclo de vida para emissões de gases de efeito estufa na China, análise do desempenho da reciclagem na Tailândia, avaliação do ciclo de vida para a gestão de resíduos sólidos urbanos na Turquia e avaliação do ciclo de vida para avaliar impacto ambiental da gestão de resíduos sólidos na Itália.

No Reino Unido, Clift et al. (2000) propuseram que a gestão integrada de resíduos, em vez de aceitar uma simples hierarquia, deveria examinar sistematicamente as alternativas para determinar o uso mais benéfico dos resíduos. Özeler et al. (2006), ao analisarem os impactos dos resíduos por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) na Turquia, consideraram o cenário de Redução na Fonte + Coleta + Transporte + Aterro como sendo o mais viável devido ao processo de redução na fonte e posterior reciclagem dos materiais triados. Outro estudo de ACV realizado por Banar et al. (2009) indicou que o cenário composto pelo método de compostagem e reciclagem é o mais ambientalmente preferível. Resultados semelhantes foram encontrados na Itália, indicando que o cenário de compostagem e reciclagem com 80% da coleta seletiva apresenta menor impacto e reduz os resíduos enviados para o aterro sanitário (FEO; MALVANO, 2009).

Zhao et al. (2009) identificaram que os resíduos gerados na China apresentam alto teor orgânico, o que contribui para as emissões de gases de efeito estufa. O aterro e a incineração contribuem com cerca de 68% e 26% para o total de emissões de gases de efeito estufa, enquanto a reciclagem apresenta uma relação inversa, com coeficiente de determinação R² de 0,967. Na Tailândia, Suttibak e Nitivattananon (2008) utilizaram os indicadores de desempenho de eficiência, eficácia e índice de serviço para os resíduos sólidos e mostraram que a taxa de reciclagem e a taxa de desvio estavam em níveis razoáveis, enquanto o desempenho de reciclagem era fraco em termos de taxa de participação, sendo necessário integrar sistemas de reciclagem de resíduos para um melhor desempenho ambiental.

Para a década de 2010, foram utilizados os métodos de ACV para a gestão de resíduos sólidos na Europa, Espanha e Turquia, ACV para recuperação energética no Brasil, avaliação da gestão de resíduos com o Índice de Resíduos Zero na Austrália e avaliação do fluxo de materiais da gestão de resíduos na Suíça.

Lazarevic et al. (2010), ao realizarem a ACV na Europa, indicaram que a reciclagem mecânica foi preferida à incineração dos resíduos sólidos, pois a reciclagem de matéria-prima utiliza menos recursos abióticos do que a incineração ou a combustão em fornos de cimento. Bovea et al. (2010) utilizaram ACV na Espanha e os resultados indicaram que o uso do biogás e aterro com recuperação energética são mais indicados que a compostagem e a reciclagem, pois permite que a carga de poluição seja evitada para todas as categorias de impacto.

Na Turquia, o cenário de incineração apresentou um maior impacto no meio ambiente devido às emissões atmosféricas, enquanto o cenário de reciclagem mecânica com recuperação de recursos e a compostagem que produz composto e fertilizante apresentaram os melhores

benefícios ambientais (ERSES YAY, 2015). Haupt et al. (2017) analisaram o fluxo de materiais na Suíça, que é um país com elevadas taxas de reciclagem. Esses autores constataram que 48% dos resíduos são destinados para usinas de incineração, enquanto 52% dos recicláveis são coletados, dois quais 27% são exportados para serem reciclados em outros países. Dos materiais coletados e recuperados, separados na origem, 73% são reciclados na Suíça.

No Brasil, Leme et al. (2014) propuseram o ACV para recuperação energética. Os resultados demonstraram que os sistemas de aterro são a pior opção de gestão de resíduos. O melhor desempenho foi o uso da combustão direta de resíduos como combustível para geração de eletricidade.

Zaman (2014) aplicou o índice desperdício zero na Austrália. O resultado indicou que a recuperação de materiais e a poupança de energia e água aumentaram desde 2003, com um índice de 0,32, enquanto as projeções para 2020 foram de 0.45 para atingir a política de zero resíduo. Nesse sentido, mudanças nos sistemas de gestão e implementação de princípios de esgotamento zero a longo prazo e ampliação das indústrias locais de reciclagem são fundamentais.

Na década de 2020, os métodos utilizados nos artigos foram avaliação do ciclo de vida e avaliação de custo da gestão de resíduos sólidos no Brasil, avaliação do impacto ambiental na gestão de resíduos sólidos no Brasil com uso de indicador agregado, indicador de gestão de resíduo nos países nórdicos e México e rede neural para produção de plástico na União Europeia.

Na Região Nórdica, os países que apresentam melhor desempenho na gestão de resíduos sólidos foram a Suécia, Dinamarca, Noruega, Finlândia e Islândia. Apesar do uso de tecnologias avançadas de tratamento de resíduos, os programas de prevenção de resíduos e de coleta seletiva precisam ser melhorados (BEHZAD et al., 2020).

Fan et al. (2022) propuseram um modelo de rede neural para prever a geração de plásticos na União Europeia em 2030. A taxa de reciclagem de 55%, pretendida na EU, é insuficiente para reduzir os impactos ambientais dos resíduos plásticos. Os cenários de redução de resíduos combinando a taxa de reciclagem de 55%, recuperação de energia de 42,6%, taxa de reciclagem de 50% e recuperação de energia de 47,6% apresentaram o melhor cenário devido ao menor potencial de aquecimento global.

Paes et al. (2020), ao avaliarem o ciclo de vida para gestão de resíduos sólidos com o desempenho econômico, indicaram que o cenário composto por aterro com 96,6% de destinação de resíduos e reciclagem de 3,4% é a alternativa mais barata. Porém, os cenários que combinaram as metas de reciclagem, eficiência de transporte e compostagem são os mais preferíveis por causa da redução dos custos sociais totais em 31% e 33%. Deus et al. (2020), ao aplicarem índice agregado para municípios do Brasil, também apontaram que o desempenho ambiental ideal pode ser alcançado através da reciclagem, juntamente com outras formas de tratamento, como a compostagem.

No México, foi utilizado indicador técnico para avaliar a gestão de resíduo sólidos em diferentes municípios do país. Dentre eles, 33% dos municípios estudados utilizavam o aterro, porém, sem atingir 90% da disposição de resíduos; 51% utilizam o despejo no solo ou aterro controlado para depositar seus resíduos. Portanto, o sistema de gestão precisa ser melhorado, além de ampliar a coleta seletiva e reciclagem (OLAY-ROMERO et al., 2020)

Wang et al. (2020), ao analisarem o ciclo de vida e custos da gestão de resíduos na China, identificaram que a separação de resíduos sólidos, a fabricação de tijolos e a reciclagem de plástico são as atividades que mais consomem eletricidade. Os custos podem ser compensados pela geração de receita com a reciclagem e pela instalação de biogás para produção de energia.

É possível perceber uma tendência do uso da metodologia de avaliação do ciclo de vida para identificar os impactos dos resíduos sólidos no sistema municipal e propor alternativas. Vale salientar que a compostagem e reciclagem são as alternativas consensuais entre os autores para minimizar os impactos do aterro sanitário, incineração e melhorar a economia local.

A AVC estuda as intervenções ambientais e os potenciais impactos desde a aquisição da matéria-prima até à produção, utilização e descarte (CLIFT et al., 2000), representando uma importante medida preventiva de proteção ambiental nos sistemas de gestão resíduos sólidos. Ela analisa a vida útil de um produto ou processo de atividade (IVANOVA; LISINA, 2023).

Os resultados dos artigos analisados evidenciaram a importância de estabelecer métodos de avaliação para a gestão dos resíduos sólidos, afim de garantir economia de recursos, promover a sustentabilidade, a partir da recuperação energética, compostagem e reciclagem. Diversos países europeus, asiáticos e americanos buscaram estabelecer legislações referente aos resíduos sólidos, com metas estabelecidas para aumento das taxas de reciclagem e eficiência na gestão pública.

5 CONCLUSÕES

Este artigo revisou a literatura ao longo dos anos de 1970 até 2022, utilizando métodos quantitativos como análise bibliométrica e mapas de redes de palavras-chave para obter uma visão geral das tendências e evolução das publicações. Além disso, foram integrados métodos qualitativos como aspectos de revisão sistemática para identificar os principais métodos de avaliação da gestão de resíduos empregados nos países.

Houve uma evolução dos termos e métodos de pesquisa. Ademais, o pico de publicações aumentou consideravelmente a partir de 2020. O método de ACV foi o mais empregado, considerando os cenários de reciclagem e compostagem como economicamente viáveis. A Europa, devido aos regulamentos e diretivas sobre resíduos, apresenta alta relevância nas publicações científicas sobre o tema. Por outro lado, países em desenvolvimento como a China e Brasil estão mostrando uma evolução e interesse pela temática, o que contribui positivamente para os países na tomada de decisões e escolha de projetos e sistemas de gestão adequados nas esferas ambiental, econômica e social.

Esta pesquisa identificou campos da literatura científica e ressaltou a importância de ampliar estudos sobre o tema. A evolução das pesquisas evidenciou que a eficiência da gestão de resíduo sólido se baseia em métodos e práticas com base na sustentabilidade, o investimento público e participação social.

A Avaliação dos modelos de gestão de resíduos deve estar associadas a formulação de políticas públicas mais eficazes nos países mundiais, de acordo as especificidades locais. Recomenda-se que os formuladores de políticas públicas e gestores estabeleçam critérios para avaliar o modelo implementado de gestão de resíduos, busquem parcerias com diferentes setores institucionais: empresas, ongs, universidades, setores de mobilização social, associados a práticas sustentáveis baseados na recuperação de recursos, na participação da sociedade e fortalecimento da economia.

Para pesquisas futuras sugere-se utilizar indicadores de sustentabilidade para identificar diferentes cenários da gestão de resíduos sólidos e mapear os avanços e práticas exitosas com base no alcance das metas de desenvolvimento sustentável da agenda 2030 prosta pela ONU.

REFERENCIAS

- ALVES, F. F. DE A.; LEHFELD, L. DE S.; CONTIN, A. C. Políticas públicas e gestão de resíduos sólidos: educação ambiental a partir de estudo de caso em Poços de Caldas/MG. **Interfaces da Educação**, v. 12, n. 35, p. 659–685, 2 nov. 2021.
- BANAR, M. ; COKAYGIL, Z. ; OZKAN, A. Life cycle assessment of solid waste management options for Eskisehir, Turkey. **Waste Management**, v. 29, n. 1, p. 54–62, 2009.
- BARLAZ, M. A. ; HAYNIE, F. H. ; OVERCASH, M. F. Framework for assessment of recycle potential applied to plastics. **Journal of Environmental Engineering**, v. 119, n. 5, p. 798–810, 1993.
- BARRON, W. F.; NG, G. T. L. An assessment methodology for environmental policy instruments: An illustrative application to solid wastes in Hong Kong. **Journal of Environmental Management**, v. 48, n. 3, p. 283–298, 1996.
- BEHZAD, M. et al. A comparative assessment of solid waste management performance in the Nordic countries based on BWM-EDAS. **Journal of Cleaner Production**, v. 266, 122008, 2020.
- BIJOS, J. C. B. F. et al. Improving circularity in municipal solid waste management through machine learning in Latin America and the Caribbean. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 28, 100740, 2022.
- BOVEA, M. D. et al. Environmental assessment of alternative municipal solid waste management strategies. A Spanish case study. **Waste Management**, v. 30, n. 11, p. 2383–2395, 2010.
- BURNHAM, J.F. Scopus database: A review. **Biomedical Digital Libraries**, v. 3, n. 1, 2006.
- CETRULO, N. M. et al. Indicadores de resíduos sólidos em sistemas de avaliação de sustentabilidade local: Uma revisão da literatura. **Ambiente & Sociedade**, v. 23, e00283, 2020.
- CHANG, N.-B.; WANG, S. F. Comparative risk analysis for metropolitan solid waste management systems. **Environmental Management**, v. 20, n. 1, p. 65–80, 1996.
- CHAVES, G. L. D.; SIMAN, R. R.; SENA, L. G. Ferramenta de avaliação dos planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos: Parte 1. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 25, p. 167–179, 2020.
- CHOWDHURY, M. O. S.; BAKSH, A. A. Analysis of urban solid waste management system of Bangladesh and Germany waste management system. **International Journal of Environmental Science and Development**, v. 11, n. 11, p. 509–513, 2020.
- CLIFT, R.; DOIG, A.; FINNVEDEN, G. The application of life cycle assessment to integrated solid waste management. Part 1 - Methodology. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 78, n. 4, p. 279–287, 2000.
- CUCCURULLO, C. ; ARIA, M. ; SARTO, F. Foundations and trends in performance management. A twenty-five years bibliometric analysis in business and public administration domains. **Scientometrics**, v. 108, n. 2, p. 595–611, 2016.
- DEUS, R. M. et al. A municipal solid waste indicator for environmental impact: Assessment and identification of best management practices. **Journal of Cleaner Production**, v. 242, 118433, 2020.
- DONTHU, N. et al. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, v. 133, p. 285–296, 2021.
- DOWIE, W. A.; MCCARTNEY, D. M.; TAMM, J. A. A case study of an institutional solid waste environmental management system. **Journal of Environmental Management**, v. 53, n. 2, p. 137–146, 1998.
- EL-HALWAGI, M. M. et al. Assessment of the performance of municipal solid wastes composting facilities under Egyptian conditions. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 1, n. 2, p. 97–109, 1988.
- ERSES YAY, A. S. Application of life cycle assessment (LCA) for municipal solid waste management: A case study of Sakarya. **Journal of Cleaner Production**, v. 94, p. 284–293, 2015.

FAN, Y. V. et al. Forecasting plastic waste generation and interventions for environmental hazard mitigation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 424, 2022.

FEO, G. D.; MALVANO, C. The use of LCA in selecting the best MSW management system. **Waste Management**, v. 29, n. 6, p. 1901–1915, 2009.

FERRONATO, N.; TORRETTA, V. Waste Mismanagement in Developing Countries: A Review of Global Issues. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 6, p. 1060, jan. 2019.

FINNVEDEN, G. Methodological aspects of life cycle assessment of integrated solid waste management systems. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 26, n. 3–4, p. 173–187, 1999.

GUERRERO, L. A.; MAAS, G.; HOGLAND, W. Solid waste management challenges for cities in developing countries. **Waste Management**, v. 33, n. 1, p. 220–232, 2013.

HARBACHE, J.; CÉSAR, A.; MOZER, T. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE PARA A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 12, n. 1, p. e18191–e18191, 8 maio 2023.

HAUPT, M.; VADENBO, C.; HELLWEG, S. Do We Have the Right Performance Indicators for the Circular Economy?: Insight into the Swiss Waste Management System. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 615–627, 2017.

INGRAHAM, T. R.; ZECHEL, E. M. Selection of candidate substances for control in an environmental regulatory agency. **Journal of the Air Pollution Control Association**, v. 29, n. 1, p. 38–42, 1979.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos Avancados**, v. 25, n. 71, p. 135–158, 2011.

LAZAREVIC, D. et al. Plastic waste management in the context of a European recycling society: Comparing results and uncertainties in a life cycle perspective. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 2, p. 246–259, 2010.

LEME, M. M. V. et al. Techno-economic analysis and environmental impact assessment of energy recovery from municipal solid waste (MSW) in Brazil. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 87, p. 8–20, 2014.

MARSHALL, R. E.; FARAHAHAKHSH, K. Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries. **Waste Management**, v. 33, n. 4, p. 988–1003, 2013.

MONGEON, P.; PAUL-HUS, A. The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. **Scientometrics**, v. 106, n. 1, p. 213–228, 2016.

MUKHERJEE, D. et al. Guidelines for advancing theory and practice through bibliometric research. **Journal of Business Research**, v. 148, p. 101–115, 2022.

OLAY-ROMERO, E. et al. Technical indicators to improve municipal solid waste management in developing countries: A case in Mexico. **Waste Management**, v. 107, p. 201–210, abr. 2020.

ÖZELER, D.; YETİŞ, Ü.; DEMIRER, G. N. Life cycle assesment of municipal solid waste management methods: Ankara case study. **Environment International**, v. 32, n. 3, p. 405–411, 2006.

PAES, M. X. et al. Transition towards eco-efficiency in municipal solid waste management to reduce GHG emissions: The case of Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 263, 121370, 2020.

PEREIRA, S. S.; CURTI, R. C.; CURTI, W. F. Use of indicators in urban solid waste management: a methodological proposal of construction and analysis for cities and regions. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, p. 471–483, jun. 2018.

RAHAMAN, M. S. et al. Mapping and visualizing research output on global solid waste management: A bibliometric review of literature. **Science & Technology Libraries**, v. 41, n. 2, p. 174–202, 2022.

SHARMA, H. B. et al. Circular economy approach in solid waste management system to achieve UN-SDGs: Solutions for post-COVID recovery. **Science of The Total Environment**, v. 800, p. 149605, 15 dez. 2021.

SUTTIBAK, S.; NITIVATTANANON, V. Assessment of factors influencing the performance of solid waste recycling programs. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 53, n. 1–2, p. 45–56, 2008.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523–538, 2010.

WANG, D. et al. Future improvements on performance of an EU landfill directive driven municipal solid waste management for a city in England. **Waste Management**, v. 102, p. 452–463, 2020.

WEITZ, K. et al. Life Cycle management of municipal solid waste. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 4, n. 4, p. 195–201, 1999.

WILSON, D. C. Development drivers for waste management. **Waste Management and Research**, v. 25, n. 3, p. 198–207, 2007.

YANG, S. et al. Research progress and frontier of global solid waste management based on bibliometrics. **Environmental Development**, v. 48, 100922, 2023.

ZAMAN, A. U. Identification of key assessment indicators of the zero waste management systems. **Ecological Indicators**, v. 36, p. 682–693, 2014.

ZHAO, W. et al. Life cycle assessment of municipal solid waste management with regard to greenhouse gas emissions: Case study of Tianjin, China. **Science of the Total Environment**, v. 407, n. 5, p. 1517–1526, 2009.