Panorama científico global sobre gestão de resíduos sólidos: uma análise bibliométrica aplicada à sustentabilidade ambiental, educação ambiental e saúde pública

Natália Barbosa de Andrade[1]*, Agnes Cristina Oliveira Mafra[2], William Costa e Silva[2]

[1]Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Humaitá-AM, Brasil.
[2]Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Várzea Grande-MT, Brasil.
* Autor para correspondência: na.andradeb@gmail.com

O crescimento populacional, a urbanização acelerada, a expansão industrial e o aumento dos padrões de consumo intensificaram significativamente a geração de resíduos sólidos em diferentes regiões do mundo, tornando a gestão adequada desses resíduos um dos principais desafios ambientais contemporâneos. O desenvolvimento econômico e tecnológico ocorrido nas últimas décadas trouxe melhorias para diversos setores da sociedade, entretanto também provocou aumento expressivo na produção de resíduos domésticos, industriais, hospitalares e comerciais, ampliando os impactos ambientais relacionados à disposição inadequada desses materiais. A ausência de sistemas eficientes de gerenciamento de resíduos sólidos contribui diretamente para a degradação ambiental, contaminação do solo e dos recursos hídricos, emissão de gases de efeito estufa e proliferação de doenças associadas às condições inadequadas de saneamento. Além disso, a disposição incorreta de resíduos em lixões e aterros irregulares favorece a geração de chorume e a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, comprometendo a qualidade ambiental e a saúde pública. Nesse contexto, a gestão sustentável de resíduos sólidos passou a ocupar posição estratégica nas agendas ambientais internacionais, especialmente após conferências globais voltadas ao desenvolvimento sustentável, como a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92) e a consolidação dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Em diversos países desenvolvidos, principalmente Estados Unidos, Japão e países da União Europeia, os sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos apresentam elevado nível de organização tecnológica, incluindo processos de reciclagem, compostagem, recuperação energética e tratamento avançado antes da disposição final. Em contrapartida, países em desenvolvimento ainda enfrentam limitações relacionadas à infraestrutura sanitária, fiscalização ambiental e implementação de políticas públicas voltadas ao gerenciamento adequado dos resíduos. No Brasil, embora existam avanços legislativos importantes, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), ainda persistem desafios relacionados à efetividade das ações de gestão, educação ambiental e fiscalização. Diante desse cenário, compreender como a produção científica mundial vem abordando a temática dos resíduos sólidos torna-se essencial para identificar tendências de pesquisa, lacunas científicas e estratégias que possam contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas mais eficientes. Assim, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise bibliométrica da produção científica relacionada à gestão de resíduos sólidos, utilizando o software R na interface RStudio e a rotina operacional Bibliometrix, buscando identificar os países com maior produção científica, as principais tendências temáticas, a evolução temporal das pesquisas e possíveis contribuições aplicáveis ao contexto brasileiro. A pesquisa caracteriza-se como exploratória, descritiva e quantitativa, fundamentada em técnicas bibliométricas aplicadas à análise da produção científica internacional. Inicialmente realizou-se o levantamento bibliográfico em bases de dados indexadas internacionais, utilizando palavras-chave relacionadas à gestão de resíduos sólidos, disposição final, tratamento de resíduos, reciclagem, sustentabilidade ambiental e gerenciamento de resíduos urbanos. Após a obtenção dos

dados, os documentos científicos passaram por etapas de refinamento e filtragem, sendo posteriormente processados no software RStudio utilizando o pacote Bibliometrix. O tratamento estatístico dos dados permitiu a obtenção de indicadores relacionados à produção científica anual, frequência de palavras-chave, países com maior relevância científica, impacto dos autores e distribuição geográfica das pesquisas. Além disso, foram construídos mapas de produção científica e análises comparativas entre os países de maior destaque na temática. Os resultados obtidos demonstraram crescimento significativo das publicações científicas relacionadas à gestão de resíduos sólidos nos últimos anos, evidenciando a crescente preocupação mundial com questões associadas à sustentabilidade ambiental, economia circular, gestão urbana e saúde pública. A análise bibliométrica revelou que países como Estados Unidos, China, Japão e membros da União Europeia concentram grande parte da produção científica relacionada à temática, refletindo elevados investimentos em pesquisa, infraestrutura sanitária e desenvolvimento tecnológico voltado ao gerenciamento sustentável dos resíduos sólidos. Esses países apresentam sistemas mais avançados de reciclagem, compostagem, recuperação energética e valorização de resíduos, além de políticas públicas mais rigorosas relacionadas ao controle ambiental e à destinação final adequada. Em contrapartida, o Brasil apresentou menor representatividade científica quando comparado aos países de maior destaque, indicando limitações relacionadas aos investimentos em pesquisa científica, infraestrutura de saneamento e implementação efetiva de políticas públicas ambientais. As análises das palavras-chave mais frequentes evidenciaram predominância de termos relacionados à sustentabilidade, reciclagem, resíduos sólidos urbanos, gestão ambiental, economia circular, disposição final, tratamento de resíduos e educação ambiental. Observou-se ainda forte associação entre os estudos relacionados aos resíduos sólidos e temas emergentes como mudanças climáticas, desenvolvimento sustentável, reaproveitamento energético e redução dos impactos ambientais. Os mapas de produção científica demonstraram concentração das pesquisas em países desenvolvidos, especialmente na América do Norte, Europa e Ásia, indicando maior maturidade científica e tecnológica nessas regiões. Além disso, verificou-se que os países com maior produção científica possuem sistemas de gerenciamento de resíduos mais estruturados, associados a programas contínuos de educação ambiental, incentivo à reciclagem e utilização de tecnologias sustentáveis para tratamento e reaproveitamento dos resíduos. Outro aspecto relevante identificado refere-se à relação entre gestão inadequada de resíduos sólidos e saúde pública. Diversos estudos analisados associam a disposição inadequada de resíduos ao aumento da contaminação ambiental, proliferação de vetores de doenças, contaminação hídrica e degradação do solo. A presença de lixões e áreas de descarte irregular favorece a proliferação de insetos, roedores e microrganismos patogênicos, contribuindo para a disseminação de doenças como leptospirose, cólera, salmonelose e doenças respiratórias associadas à queima inadequada de resíduos. Observou-se ainda que regiões com deficiência em saneamento e gerenciamento de resíduos apresentam maiores índices de vulnerabilidade socioambiental, evidenciando a necessidade de integração entre políticas públicas de saúde, saneamento e educação ambiental. Nesse contexto, a educação ambiental assume papel estratégico na conscientização da população quanto à redução da geração de resíduos, descarte correto, coleta seletiva e reaproveitamento de materiais recicláveis. A análise bibliométrica demonstrou também a crescente utilização de tecnologias voltadas à valorização energética dos resíduos sólidos, incluindo processos de biodigestão, compostagem, recuperação energética e reaproveitamento industrial, evidenciando o avanço das pesquisas relacionadas à economia circular e sustentabilidade. Além disso, verificou-se que a utilização do software R na interface RStudio associada à rotina Bibliometrix mostrou-se eficiente para organização, processamento e interpretação dos dados científicos, permitindo ampla

visualização das tendências de pesquisa relacionadas à temática ambiental. A aplicação das técnicas bibliométricas possibilitou identificar padrões científicos, áreas emergentes de pesquisa e relações entre os países com maior impacto científico na área de resíduos sólidos. Os resultados obtidos evidenciam que o desenvolvimento científico relacionado à gestão de resíduos sólidos possui forte relação com investimentos governamentais em ciência, tecnologia, saneamento e educação ambiental. Dessa forma, conclui-se que a produção científica mundial relacionada à gestão de resíduos sólidos encontra-se em constante expansão, impulsionada principalmente pelas preocupações globais associadas à sustentabilidade ambiental, mudanças climáticas, urbanização e saúde pública. Os resultados demonstraram que países desenvolvidos concentram grande parte da produção científica mundial na área, refletindo investimentos contínuos em pesquisa, inovação tecnológica e infraestrutura sanitária. Em contrapartida, o Brasil ainda apresenta participação científica limitada quando comparado aos países de maior destaque, evidenciando a necessidade de fortalecimento das políticas públicas de saneamento, incentivo à pesquisa científica e ampliação das ações de educação ambiental voltadas à gestão sustentável dos resíduos sólidos. Além disso, o estudo reforça o potencial das técnicas bibliométricas como ferramentas estratégicas para análise da produção científica e prospecção tecnológica em áreas ambientais prioritárias, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias voltadas à sustentabilidade, economia circular e redução dos impactos ambientais associados aos resíduos sólidos.

Palavras-chave: Bibliometria, educação ambiental, gestão ambiental, resíduos sólidos, sustentabilidade.