

## **Gestão sustentável de resíduos de equipamentos médicos: integração entre engenharia clínica e gestão ambiental**

## ***Sustainable management of medical equipment waste: integration between clinical engineering and environmental management***

## *Gestión sostenible de residuos de equipos médicos: integración entre ingeniería clínica y gestión ambiental*

Cezar Di Paula da Silva Pinheiro<sup>1</sup>

Ana Paula da Silva Pinheiro<sup>2</sup>

Raimundo Nonato Nascimento Dias<sup>3</sup>

Flavio Fagundes de Paula<sup>4</sup>

---

<sup>1</sup> Doutorando em Ciências Ambientais pela Universidade do Estado do Pará (UEPA). Especialização em Engenharia Clínica pela Faculdade Unyleya. **E-mail:** [cezarpinheiroo18@gmail.com](mailto:cezarpinheiroo18@gmail.com), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3946-2379>

<sup>2</sup> Pós-graduação em Arteterapia pela Faculdade Educaminas. Enfermeira. **E-mail:** [paulapinheirinho2@gmail.com](mailto:paulapinheirinho2@gmail.com), **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0009-0404-7045>

<sup>3</sup> Graduando em Enfermagem pela Universidade da Amazônia (UNAMA). **E-mail:** [nonatosantos0811@gmail.com](mailto:nonatosantos0811@gmail.com), **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0006-5810-9625>

<sup>4</sup> Doutorando em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Londrina (UEL). **E-mail:** [engenharia.flaviofagundes@gmail.com](mailto:engenharia.flaviofagundes@gmail.com), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6973-9888>

**Resumo:** O avanço tecnológico na área da saúde impulsiona a modernização dos equipamentos médicos, resultando em um aumento significativo na geração de resíduos eletrônicos, compostos por plásticos, metais e substâncias tóxicas. A gestão desses resíduos enfrenta desafios regulatórios e tecnológicos, especialmente em países em desenvolvimento. Este artigo tem como objetivo explorar, por meio de uma análise bibliométrica, as tendências e as lacunas na literatura científica sobre a gestão de resíduos de equipamentos médicos obsoletos, com ênfase em práticas de reciclagem e na integração da economia circular, áreas ainda pouco abordadas de forma integrada. Para isso, foram analisados 73 artigos científicos extraídos da base PubMed, utilizando o software VOSviewer. Os resultados evidenciaram a necessidade de políticas públicas eficazes e tecnologias inovadoras para mitigar os impactos ambientais e promover a sustentabilidade no setor hospitalar, destacando a engenharia clínica como elemento essencial para a integração de práticas sustentáveis.

**Palavras-chave:** economia circular; gestão hospitalar; reciclagem de dispositivos médicos; resíduos eletrônicos.

**Abstract:** Technological advancements in the healthcare sector drive the modernization of medical equipment, resulting in a significant increase in the generation of electronic waste, which consists of plastics, metals, and toxic substances. The management of this waste faces regulatory and technological challenges, particularly in developing countries. This article aims to explore, through a bibliometric analysis, the trends and gaps in the scientific literature regarding the management of obsolete medical equipment waste, with an emphasis on *recycling* practices and the integration of the *circular economy*, areas that have been little explored in an integrated manner. To achieve this, 73 scientific articles extracted from the PubMed database were analyzed using the *VOSviewer* software. The results highlighted the need for effective public policies and innovative technologies to mitigate environmental impacts and promote sustainability in the hospital sector, emphasizing clinical engineering as an essential element for integrating sustainable practices.

**Keywords:** *circular economy*; hospital management; medical device *recycling*; electronic waste.

**Resumen:** Los avances tecnológicos en el sector sanitario impulsan la modernización de los equipos médicos, lo que ha generado un aumento significativo en la producción de residuos electrónicos, compuestos por plásticos, metales y sustancias tóxicas. La gestión de estos residuos enfrenta desafíos regulatorios y tecnológicos, especialmente en países en desarrollo. Este artículo tiene como objetivo explorar, mediante un análisis bibliométrico, las tendencias y lagunas en la literatura científica sobre la gestión de residuos de equipos médicos obsoletos, con énfasis en las prácticas de reciclaje y en la integración de la economía circular, áreas que han sido poco exploradas de manera integrada. Para ello, se analizaron 73 artículos científicos extraídos de la base de datos PubMed, utilizando el software *VOSviewer*. Los resultados evidenciaron la necesidad de políticas públicas eficaces y de tecnologías innovadoras para mitigar los impactos ambientales y fomentar la sostenibilidad en el sector hospitalario, destacando la ingeniería clínica como un elemento esencial en la integración de prácticas sostenibles.

**Palabras clave:** economía circular; gestión hospitalaria; reciclaje de dispositivos médicos; residuos electrónicos.

## **1 INTRODUÇÃO**

O avanço tecnológico na área da saúde, impulsionado pela crescente busca por diagnósticos mais precisos e tratamentos inovadores, tem levado à rápida renovação de equipamentos médicos. Embora esse progresso seja indispensável para a melhoria dos serviços de saúde, ele também resulta em um volume crescente de resíduos provenientes de dispositivos obsoletos. Esses resíduos, compostos majoritariamente por plásticos, metais e materiais perigosos, como metais pesados e substâncias tóxicas, requerem estratégias específicas de destinação final. Quando descartados de forma inadequada, podem acarretar sérios riscos ao meio ambiente e à saúde pública, incluindo bioacumulação de metais pesados no organismo humano. Além disso, essa exposição, frequentemente associada à reciclagem informal, tem sido relacionada a problemas respiratórios e neurológicos significativos.

A gestão de resíduos eletrônicos do setor médico enfrenta desafios globais que vão desde lacunas regulatórias até limitações tecnológicas na reciclagem e tratamento desses materiais. Em países em desenvolvimento, esses problemas são ainda mais críticos, devido à infraestrutura precária e à falta de capacitação técnica. Nesse cenário, a economia circular surge como uma alternativa ao modelo linear de descarte, ao promover a redução de resíduos, o reaproveitamento de materiais e a reintegração de recursos ao ciclo produtivo, favorecendo tanto a sustentabilidade ambiental quanto a eficiência operacional no setor hospitalar.

Nesse cenário, a engenharia clínica desempenha um papel essencial na conexão entre a regulamentação ambiental e a adoção de práticas sustentáveis, gerenciando o ciclo de vida dos dispositivos médicos desde a aquisição e manutenção até o descarte final. Além disso, sua atuação em conjunto com a gestão ambiental permite a implementação de estratégias que favorecem o reaproveitamento de materiais e a mitigação de impactos ambientais. Estudos indicam que práticas sustentáveis na gestão de dispositivos médicos não apenas reduzem os danos ambientais, mas também melhoram a eficiência operacional dos sistemas hospitalares. No entanto, a adoção dessas práticas enfrenta desafios, como a falta de estratégias bem

definidas, a ausência de incentivos econômicos e barreiras regulatórias significativas.

Desse modo, o presente artigo tem como objetivo explorar, por meio de uma análise bibliométrica, as tendências e as lacunas na literatura científica sobre a gestão de resíduos de equipamentos médicos obsoletos, com ênfase em práticas de reciclagem e na integração da economia circular, áreas ainda pouco abordadas de forma integrada. A análise busca identificar conexões entre esses campos, proporcionando uma base para o desenvolvimento de estratégias integradas que possam mitigar os impactos ambientais e promover a sustentabilidade no setor hospitalar.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A análise bibliométrica foi conduzida com base nos dados extraídos da plataforma PubMed e processados no software *VOSviewer*. Essas ferramentas foram selecionadas por suas reconhecidas contribuições à pesquisa científica e por sua capacidade de fornecer uma análise confiável e abrangente. O PubMed, desenvolvido pelo National Center for Biotechnology Information (NCBI), é amplamente reconhecido como a principal base de dados para informações científicas nas áreas biomédica e de saúde. Sua integração com o Medline permite acesso a uma ampla gama de conteúdos revisados por pares, sendo referência para buscas relacionadas à saúde e áreas correlatas. Oliveira, Souza e Pereira (2019) destacam que a PubMed é indispensável para a formulação de revisões sistemáticas e análises bibliométricas devido a sua cobertura ampla e organização sistemática dos dados.

Os seguintes termos de busca foram utilizados, combinados por operadores booleanos para garantir maior abrangência temática: (“*Medical Device Disposal*” OR “*Obsolete Medical Equipment*”) AND (“*Healthcare Waste Management*” OR “*Electronic Waste*”).

A busca foi realizada em fevereiro de 2025 e abrangeu publicações do período de janeiro de 2004 a dezembro de 2024 (20 anos), incluindo trabalhos em qualquer idioma. Como resultado, foram selecionados 73 artigos científicos. A qualidade e a abrangência dos dados foram consideradas para garantir que os estudos escolhidos refletissem as principais tendências e de-

safios da gestão de resíduos médicos, seguindo a abordagem metodológica proposta por Araújo *et al.* (2012). Os artigos foram exportados no formato “.txt”, compatível com o software *VOSviewer*, para posterior análise.

O software *VOSviewer*, desenvolvido por Van Eck e Waltman (2010), foi escolhido por sua robustez e interface interativa que permite a criação de mapas bibliométricos complexos. A ferramenta se destaca por sua capacidade de processar grandes volumes de dados bibliográficos e criar visualizações interativas que auxiliam na identificação de clusters temáticos, redes de colaboração e relações de coocorrência. A escolha do *VOSviewer* foi fundamentada em sua popularidade na literatura científica para análises similares e por sua compatibilidade com os dados extraídos da PubMed.

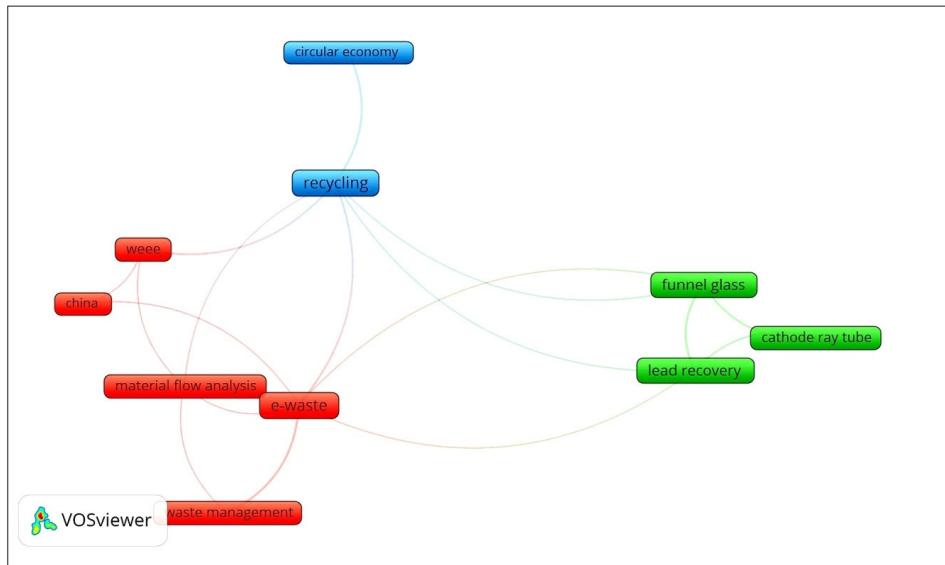
Para evitar redundâncias nos dados, foi criado um arquivo thesaurus para padronizar palavras-chave similares ou intercambiáveis, como “*electronic waste (e-waste)*” e “*e-waste*”, agrupados sob a denominação padrão “*e-waste*”. Termos como “*waste electrical and electronic equipment (weee)*” também foram unificados para “*weee*”.

A análise no *VOSviewer* foi configurada para avaliar a coocorrência de palavras-chave dos autores (*author keywords*), utilizando o método de contagem completa (*full counting*), o que atribui peso igual a cada coocorrência. O critério de inclusão foi definido como um número mínimo de 2 ocorrências, e das 151 palavras-chave identificadas, 10 atenderam ao critério estabelecido.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A visualização de rede gerada pelo software *VOSviewer* revelou a estrutura da literatura científica relacionada à gestão de resíduos de equipamentos médicos obsoletos. O mapa foi organizado em três clusters principais, diferenciados por cores (vermelho, azul e verde), representando agrupamentos temáticos baseados na coocorrência das palavras-chave analisadas. Esses clusters destacam as áreas de foco na pesquisa internacional sobre resíduos eletrônicos e equipamentos médicos, evidenciando inter-relações entre a gestão ambiental e as práticas de reciclagem (Figura 1).

Figura 1 – Rede de palavras-chave e clusters temáticos



Fonte: elaborada pelos autores (2025).

O cluster vermelho, que inclui palavras-chave como “e-waste” (resíduos eletrônicos), “waste management” (gestão de resíduos), “weeee” (equipamentos elétricos e eletrônicos descartados), “material flow analysis” (análise de fluxo de materiais) e “China”, é o mais extenso e central na análise. A palavra “e-waste”, com 11 ocorrências e uma força de ligação de 9, destaca-se como o principal nó conectivo, demonstrando sua relevância como tema central na literatura. Segundo Van Eck e Waltman (2010), a força de ligação mede a intensidade das conexões entre os nós, representando a frequência com que palavras-chave aparecem juntas nos artigos analisados. A forte conexão de “e-waste” com “waste management” e “weeee” sugere que as discussões giram em torno dos desafios operacionais e regulatórios relacionados ao descarte e gerenciamento desses resíduos.

Sobre o assunto, Xu *et al.* (2012) destacam que a reciclagem de tubos de raios catódicos (CRTs) na China apresenta severas limitações técnicas e elevados riscos ambientais, especialmente devido ao manejo inadequado de materiais perigosos, como o chumbo. Chan e Wong (2013) revisaram os riscos ambientais e de saúde pública associados aos poluentes orgânicos

persistentes (POPs), como dioxinas e furanos, emitidos durante a reciclagem informal de resíduos eletrônicos na China. Segundo os autores, as populações expostas a esses locais frequentemente apresentam altos níveis de metais pesados acumulados no sangue e nos tecidos corporais, levando a efeitos neurotóxicos e renais. Essas evidências reforçam a necessidade urgente de regulamentações mais rigorosas e práticas seguras para o gerenciamento de resíduos eletrônicos, particularmente em países que concentram atividades de reciclagem informal, como a China.

Adicionalmente, Kang, Chen e Ogunseitan (2013) enfatizam os impactos associados ao descarte inadequado de baterias de lítio presentes em resíduos eletrônicos, destacando a liberação de substâncias cancerígenas e mutagênicas durante os processos de descarte e reciclagem inadequados. Essas análises evidenciam a importância de estudos que integrem perspectivas ambientais e de saúde pública, destacando a necessidade de avanços tecnológicos e regulamentares para mitigar os impactos negativos do manejo inadequado de resíduos eletrônicos.

O cluster azul é composto por palavras-chave como “recycling” (reciclagem), com 8 ocorrências e força de ligação de 9, e “circular economy” (economia circular), com 2 ocorrências e força de ligação de 2. Esse agrupamento pode indicar uma tendência crescente na literatura para a adoção de práticas sustentáveis na gestão de resíduos médicos, enfatizando a reutilização de componentes e a redução dos impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado de resíduos eletrônicos.

Wang e Xu (2014) apresentaram uma revisão abrangente sobre a reciclagem de frações não metálicas de equipamentos elétricos e eletrônicos descartados, destacando sua importância para a economia circular. Os autores demonstraram que, embora existam tecnologias promissoras, desafios persistem no reaproveitamento de frações complexas, como plásticos mistos e materiais compósitos. Da mesma forma, Akcil (2016) analisou o papel da reciclagem de equipamentos elétricos e eletrônicos descartados para alcançar metas de sustentabilidade, sugerindo que estratégias integradas entre governos e indústrias podem acelerar a adoção de práticas mais eficazes.

A conexão direta entre “recycling” e “e-waste” pode reforçar que a reciclagem não é apenas uma estratégia central, mas também uma resposta

direta aos desafios apresentados pela grande quantidade de resíduos eletrônicos descartados globalmente. Essa inter-relação evidencia a importância de práticas que alinhem a recuperação de materiais ao ciclo produtivo.

O cluster verde é caracterizado por palavras-chave como “*funnel glass*” (vidro de funil), “*cathode ray tube*” (tubo de raios catódicos) e “*lead recovery*” (recuperação de chumbo), com 4, 2 e 3 ocorrências, respectivamente, e forças de ligação que variam entre 4 e 7. Este cluster pode refletir os esforços técnicos e ambientais direcionados à recuperação de materiais perigosos provenientes de equipamentos médicos e eletrônicos antigos.

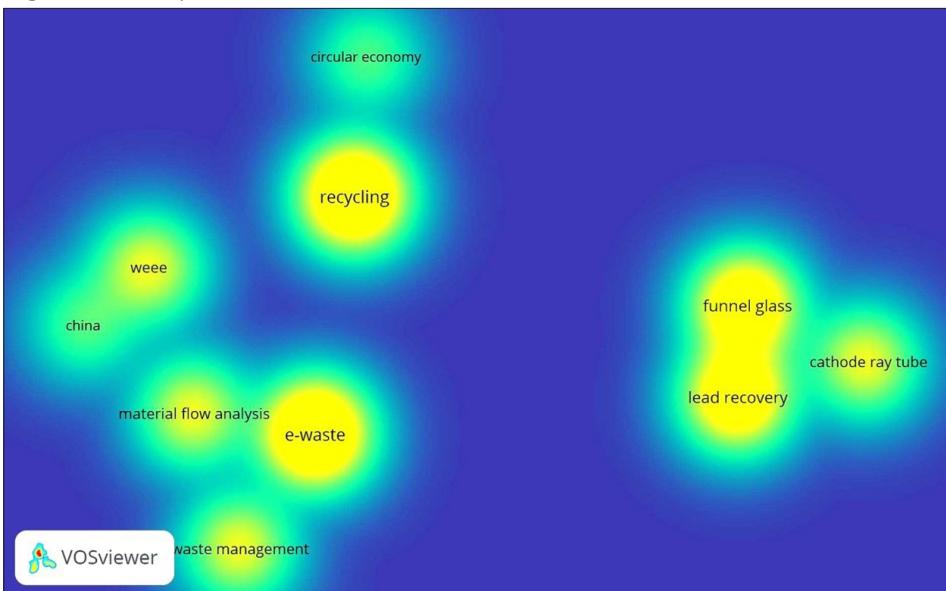
Yuan *et al.* (2015) exploraram a recuperação de chumbo a partir de vidro de funil, usando sulfidação hidrotérmica, demonstrando que a eficiência do processo é altamente dependente de parâmetros como temperatura e concentração de reagentes. O trabalho destaca a relevância de processos inovadores para lidar com resíduos perigosos, principalmente em regiões onde o manejo inadequado ainda é prevalente.

Da mesma forma, Okada e Yonezawa (2014) investigaram uma abordagem de fusão combinada com reciclagem de fluxo de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  para recuperar chumbo de vidro de funil. O estudo apontou que a combinação de tecnologias pode não apenas melhorar a eficiência do processo, mas também minimizar os resíduos secundários gerados. Esses esforços são cruciais para resolver os desafios ambientais e de saúde associados ao descarte inadequado de CRTs.

As conexões entre os clusters sugerem uma inter-relação entre a gestão de resíduos, a reciclagem e a recuperação de materiais perigosos, alinhada às diretrizes internacionais, como a Diretiva Europeia 2018/849, que enfatiza a responsabilidade estendida do produtor e a necessidade de práticas de reciclagem aprimoradas (União Europeia, 2018). A centralidade de “*e-waste*” e suas conexões com “*recycling*” e “*lead recovery*” infere que a literatura reconhece a necessidade de abordagens integradas, que combinem soluções técnicas e políticas públicas eficazes.

Dando continuidade, apresenta-se, a seguir, a imagem da densidade gerada pelo VOSviewer, a qual destaca a intensidade dos estudos em áreas específicas, evidenciando os temas mais investigados na literatura científica (Figura 2).

Figura 2 – Mapa de densidade



Fonte: autores (2025).

As áreas de maior densidade estão concentradas em torno de “*e-waste*”, “*recycling*”, “*funnel glass*” e “*lead recovery*”. Esses termos, marcados por alta intensidade (em amarelo), refletem os focos principais da pesquisa, enquanto as áreas de menor densidade sugerem lacunas ou temas emergentes. Infere-se que o destaque quantitativo de “*e-waste*” reafirma sua relevância central, apontando para a predominância de estudos voltados ao descarte de resíduos eletrônicos. Li *et al.* (2013) identificaram o crescimento contínuo de “*weee*” e os desafios associados à sua gestão, destacando a necessidade de estratégias regionais e globais para lidar com o aumento exponencial desses resíduos.

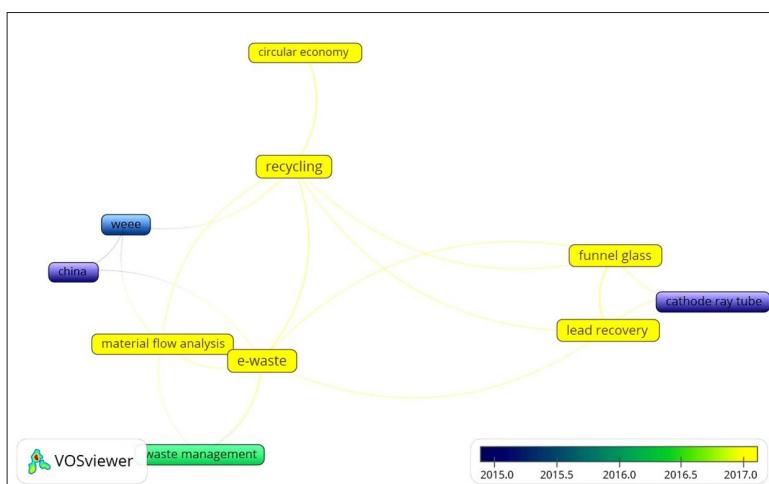
A palavra “*recycling*” também apresenta alta densidade, refletindo o volume significativo de publicações voltadas ao reaproveitamento de materiais e componentes, evidenciando seu papel central na mitigação dos impactos ambientais causados por resíduos eletrônicos. Gonçalves *et al.* (2015) demonstraram, por exemplo, que a reciclagem de baterias de lítio é uma tecnologia viável e ambientalmente responsável, destacando

que avanços tecnológicos nesse campo são essenciais para promover práticas sustentáveis e integrar soluções à economia circular. A presença de “recycling” como foco na literatura reforça sua relevância tanto como estratégia central quanto como um componente indispensável para o gerenciamento eficiente de resíduos perigosos, como baterias e CRTs.

Os termos “funnel glass” e “lead recovery” se destacam como áreas de alta densidade interconectadas, podendo indicar o foco técnico em processos de recuperação de materiais perigosos. Pode-se inferir sobre os esforços da literatura científica em abordar os desafios ambientais e de saúde associados ao descarte inadequado de tubos de raios catódicos, que continuam a compor uma parcela significativa dos resíduos eletrônicos descartados globalmente. Estudos demonstram que tecnologias avançadas, como a sulfidação hidrotérmica e a fusão combinada, são essenciais para a recuperação de chumbo desses resíduos, contribuindo para a mitigação de impactos ambientais e o reaproveitamento sustentável de materiais (Okada; Yonezawa, 2014; Yuan *et al.*, 2015).

A imagem a seguir apresenta a análise temporal das palavras-chave relacionadas à gestão de resíduos de equipamentos médicos obsoletos (Figura 3).

Figura 3 – Análise temporal de palavras-chave



Fonte: autores (2025).

Na análise temporal das palavras-chave, observa-se que “*cathode ray tube*” e “*China*” aparecem em tons roxos, representando temas que ganharam destaque em um período anterior, aproximadamente entre 2015 e 2016. Isso pode indicar que, naquele período, os estudos focaram mais na substituição tecnológica e nos desafios relacionados ao descarte e à recuperação de materiais provenientes de tubos de raios catódicos, dispositivos então em declínio de uso. Okada *et al.* (2013) e Yuan *et al.* (2015) discutiram processos avançados para a recuperação de chumbo e o reaproveitamento de vidro de funil, reforçando que esses resíduos representavam uma preocupação significativa naquela época.

O termo “*weee*”, em azul, demonstra relevância intermediária no mesmo período, destacando seu vínculo com a gestão desses resíduos e seu descarte adequado, frequentemente relacionado à região asiática, como sugerido pela conexão com “*China*”.

Já “*waste management*”, em verde, sugere uma continuidade no interesse em estratégias globais de gestão de resíduos ao longo do período analisado. Isso reflete a necessidade de abordar os desafios ambientais e operacionais associados ao descarte inadequado de resíduos médicos e eletrônicos, como apontado por Wang e Xu (2014).

Finalmente, os termos em amarelo indicam um foco mais recente, especialmente entre 2016 e 2017. Esses termos refletem a crescente atenção da literatura para soluções inovadoras e sustentáveis, como a integração de práticas de reciclagem e estratégias de economia circular. Swain e Lee (2019) destacaram que a economia circular oferece uma abordagem eficiente para reduzir os impactos ambientais dos resíduos eletrônicos, alinhando-se a práticas de reaproveitamento e recuperação de materiais.

## **4 CONCLUSÃO**

A análise realizada evidencia a necessidade de abordagens integradas para a gestão de resíduos de equipamentos médicos obsoletos, unindo os princípios da engenharia clínica e da gestão ambiental. A centralidade de termos como “*e-waste*” e “*recycling*” demonstra a relevância do reaproveitamento de materiais e da economia circular na mitigação dos impactos ambientais associados ao descarte inadequado de resíduos eletrônicos.

Além disso, a presença de “*funnel glass*” e “*lead recovery*” ressalta o foco técnico na recuperação de materiais perigosos, como o chumbo proveniente de tubos de raios catódicos, ainda presentes em equipamentos médicos antigos. Estudos indicam que a liberação de metais pesados e poluentes orgânicos persistentes pode representar riscos ambientais significativos, especialmente em processos de reciclagem não controlados, que favorecem a bioacumulação e biomagnificação de contaminantes tóxicos. Essas atividades podem gerar impactos severos à saúde humana e ao meio ambiente.

Os resultados destacam a importância de políticas públicas robustas, aliadas a tecnologias inovadoras, para enfrentar os desafios relacionados ao manejo inadequado de resíduos eletrônicos em escala global. Estratégias que priorizem a reciclagem, o reaproveitamento de materiais e a redução de resíduos perigosos são cruciais para alinhar as práticas de descarte aos princípios da economia circular. Além disso, a conscientização da população sobre a importância da destinação correta dos resíduos eletrônicos é fundamental para o sucesso dessas iniciativas.

Paralelamente, é essencial considerar os impactos à saúde pública causados pela exposição prolongada a metais pesados e substâncias tóxicas provenientes desses resíduos. Estudos apontam que estratégias integradas, que alinhem políticas ambientais e ações de saúde pública, são cruciais para mitigar os riscos à saúde humana, especialmente em regiões onde o descarte informal é predominante. Essa integração é essencial para promover uma gestão ambientalmente responsável, minimizando riscos à saúde e fortalecendo a sustentabilidade no setor de equipamentos médicos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo apoio financeiro, fundamental para o desenvolvimento deste estudo e para o avanço do conhecimento e da formação acadêmica no país.

## REFERÊNCIAS

- AKCIL, A. WEEE: Booming for sustainable recycling. *Waste Management*, [S. I.], v. 57, p. 1-2, 2016. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.10.014
- ARAÚJO, M. G.; MAGRINI, A.; MAHLER, C. F.; BILITEWSKI, B. A model for estimation of potential generation of waste electrical and electronic equipment in Brazil. *Waste Management*, [S. I.], v. 32, n. 2, p. 335-342, 2012
- CHAN, J. K.; WONG, M. H. A review of environmental fate, body burdens, and human health risk assessment of PCDD/Fs at two typical electronic waste recycling sites in China. *Sci Total Environ*, [S. I.], v. 463/464, oct. 2013. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.07.098
- GONÇALVES, M. C.; GARCIA, E. M.; TAROCO, H. A.; GORGULHO, H. F.; MELO, J. O.; SILVA, R. R.; SOUZA, A. G. Chemical recycling of cell phone Li-ion batteries: Application in environmental remediation. *Waste Management*, [S. I.], v. 40, p. 144-150, 2015. DOI: 10.1016/j.wasman.2015.02.014
- KANG, D. H. P.; CHEN, M.; OGUNSEITAN, O. A. Potential environmental and human health impacts of rechargeable lithium batteries in electronic waste. *Environmental Science & Technology*, [S. I.], v. 47, n. 10, p. 5495-5503, 2013. DOI: 10.1021/es400614y
- LI, J.; LOPEZ, B. N.; LIU, L.; ZHAO, N.; YU, K.; ZHENG, L. Regional or global WEEE recycling. Where to go? *Waste Management*, [S. I.], v. 33, n. 4, p. 923-934, 2013.
- OKADA, T.; YONEZAWA, S. Energy-efficient modification of reduction-melting for lead recovery from cathode ray tube funnel glass. *Waste Management*, [S. I.], v. 33, n. 8, p. 1758-1763, 2013. DOI: 10.1016/j.wasman.2013.04.009
- OLIVEIRA, L. C.; SOUZA, J. R.; PEREIRA, R. M. PubMed e sua importância na pesquisa biomédica: revisão de literatura. *Revista Brasileira de Ciências da Saúde*, [S. I.], v. 23, n. 4, p. 45-52, 2019.
- SWAIN, B.; LEE, C. G. Commercial indium recovery processes development from various e-(industry) waste through the insightful integration of valorization processes: A perspective. *Waste Management*, [S. I.], v. 87, p. 597-611, 2019. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.02.042.
- UNIÃO EUROPEIA. Diretiva (UE) 2018/849 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de maio de 2018, que altera as Diretivas 2000/53/CE relativa aos veículos em

fim de vida, 2006/66/CE relativa às pilhas e acumuladores e respetivos resíduos, e 2012/19/UE relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos. *Jornal Oficial da União Europeia*, [S. l.], 14 jun. 2018.

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

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Visualizing bibliometric networks. In: DING, Ying; ROUSSEAU, Ronald; WOLFRAM, Dietmar (Ed.). *Measuring scholarly impact*. [S. l.]: Springer, 2014. p. 285-320.

XU, Q.; LI, G.; HE, W.; HUANG, J.; SHI, X. Cathode ray tube (CRT) recycling: current capabilities in China and research progress. *Waste Management*, [S. l.], v. 32, n. 8, p. 1566-1574, 2012. DOI: 10.1016/j.wasman.2012.03.009.

WANG, R.; XU, Z. Recycling of non-metallic fractions from waste electrical and electronic equipment (WEEE): a review. *Waste Management*, [S. l.], v. 34, n. 8, p. 1455-1469, 2014. DOI: 10.1016/j.wasman.2014.03.004

YUAN, W.; MENG, W.; LI, J.; ZHANG, C.; SONG, Q.; BAI, J.; WANG, J.; LI, Y. Lead recovery from scrap cathode ray tube funnel glass by hydrothermal sulphidisation. *Waste Management Research*, [S. l.], v. 33, n. 10, p. 930-936, 2015. DOI: 10.1177/0734242X15597777