

Tecnologias aplicadas à recuperação de material a partir de REEE

Technologies applied to material recovery from E-Waste

Luciana Silva Contador
Bolsista PCI, Bióloga, D.Sc.

Lúcia Helena Xavier
Supervisora, Bióloga, D. Sc.

Resumo

Em 2022, o Global E-Waste Monitor revelou que o mundo gerou 62 bilhões de kg de resíduos eletroeletrônicos (REEE), com uma projeção de 82 milhões de toneladas para 2030. Apesar de apresentarem em sua composição substâncias perigosas e valiosas, apenas 22,3% dos REEE gerados em 2023 foram reciclados adequadamente. A gestão dos REEE, incluindo a recuperação de materiais por meio de mineração urbana, requer a implementação de sistemas de logística reversa e o desenvolvimento de tecnologias de reciclagem eficientes. O Projeto Recuper3 investiga as rotas de circularidade e o potencial de recuperação de valor desses resíduos, mapeando as tecnologias disponíveis globalmente e no Brasil. Para a análise de patentes, foi utilizada a plataforma ORBIT Intelligence, a pesquisa revelou um aumento significativo no registro de patentes relacionadas à reciclagem de REEE desde 2017. A China lidera a inovação tecnológica nesse campo. As patentes estão concentradas em áreas como engenharia química e metalurgia, refletindo o uso de técnicas avançadas para a recuperação de metais. A pesquisa destaca a importância da reciclagem de REEE como uma solução viável para desafios globais, com o potencial de aumentar a circularidade e reduzir o impacto ambiental.

Palavras-chave: REEE, reciclagem, recuperação de material, inovação tecnológica, patentes.

Abstract

In 2022, the Global E-Waste Monitor reported that the world generated 62 billion kg of e-waste, with a projection of 82 million tons by 2030. Despite containing hazardous substances and valuable materials, only 22.3% of the e-waste generated in 2023 was properly recycled. The management of e-waste, including material recovery through urban mining, depends on the implementation of effective reverse logistics systems and the development of efficient recycling technologies. The Recuper3 Project survey circularity pathways and the potential for value recovery from these wastes, by mapping technologies available globally and in Brazil. Using the ORBIT Intelligence platform for patent analysis, the research revealed a significant increase in patent filings related to e-waste recycling since 2017. China is at the forefront of technological innovation in this area. Patents are concentrated in fields such as chemical engineering and metallurgy, reflecting the application of advanced techniques for metal recovery. This research highlights the importance of e-waste recycling as a viable solution to global challenges, with the potential to enhance circularity and reduce environmental impact.

Key words: e-waste; recycling, material recovery, technological innovation, patents.

1. Introdução

De acordo com o Global E-Waste Monitor, em 2022, o mundo gerou 62 bilhões de kg de resíduos eletroeletrônicos (REEE), o equivalente a 7.8kg per capita. Com aumento de 2,6 milhões de toneladas por ano desde 2010, os REEE são o tipo de resíduo que mais cresce no mundo. A estimativa para 2030 é de 82 milhões de toneladas geradas em todo o mundo (Baldé et al., 2024).

Resíduos eletroeletrônicos apresentam em sua composição tanto materiais críticos e estratégicos (ex.: cobre, níquel, lítio, cobalto), quanto substâncias perigosas (ex.: chumbo, mercúrio e dioxinas) (Xavier et al., 2023). Apesar de ser considerado um resíduo perigoso e se seu potencial econômico, somente 22,3% de REEE gerados em 2023 (13,8 bilhões kg) foram devidamente coletados e reciclados (Baldé et al., 2024).

A geração de REEE associada à taxa de recuperação representa uma fonte antropogênica para a produção secundária de materiais ou mineração urbana. Essa oferta secundária pode permitir que um país, através da importação, acumule um estoque de material secundário, mesmo que não possua reservas naturais desse recurso (Vasques, 2009).

Para ampliar a taxa de recuperação de REEE são necessários a implementação de um sistema de logística reversa (SLR) robusto e o desenvolvimento de tecnologias que otimizem o processo de reciclagem e recuperação de materiais secundários.

O Projeto Recuper3 estuda as rotas de circularidade e o potencial de recuperação de valor a partir da mineração urbana dos REEE. Para a análise do potencial de circularidade dos materiais de REEE, está sendo realizado um mapeamento das tecnologias existentes no mundo e disponíveis no Brasil.

A pesquisa bibliográfica permite avaliar os principais temas e avanços científicos de um determinado momento, mas a prospecção de patentes permite acompanhar o progresso tecnológico de determinada área de pesquisa ou de um país. Patentes são indicadores da aplicação do conhecimento científico na atividade produtiva (de Paulo et al., 2023; Yang et al., 2023).

A classificação IPC (International Patent Classification) é uma das classificações mais utilizadas globalmente para patentes, sendo adotado por mais de 100 países (incluindo o Brasil, INPI) e coordenado pela Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI). Outro sistema também usado pelo INPI é a Classificação de Cooperação de Patentes (CPC), uma extensão mais detalhada do IPC, criada/regida pelo Escritório Europeu de Patentes (EPO) e pelo Escritório de Marcas e Patentes dos Estados Unidos (USPTO) (INPI, 2023).

2. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo analisar a inovação tecnológica mundial para reciclagem de REEE, através da pesquisa de dados de patentes.

3. Material e Métodos

Para a prospecção e análise dos dados foi utilizada a plataforma ORBIT Intelligence® da empresa QUESTEL®. A Orbit possui uma ampla base de dados, com acesso aos principais sistemas de classificação de patentes (IPC, CPC, USPC, ECLA, FI e ICO), além de apresentar diversas ferramentas para processamento dos dados.

Para esse estudo, foi realizada uma busca nos campos “Título e Resumo” para os termos de busca: ((waste AND electronic) AND recyc*) na plataforma Orbit, incluindo as bases IPC e CPC. O espaço temporal escolhido foi o de 20 anos, período que corresponde ao prazo de proteção da patente a partir da data do depósito.

Após extração dos documentos, foi realizada a leitura dos títulos para uma triagem de adequação ao escopo da pesquisa, seguida do descarte de duplicatas e de documentos que não correspondiam ao objeto da busca.

Os resultados obtidos foram analisados por país de proteção; domínio tecnológico, IPC e CPC clusters e evolução ao longo do tempo.

4. Resultados e Discussão

Os termos de busca geraram um conjunto de 300 documentos de patentes, após a triagem de adequação ao escopo restaram 264 documentos.

A Figura 1 apresenta os depósitos internacionais de patentes no período pesquisado. Observa-se um aumento acentuado no número de patentes de tecnologias para reciclagem de REEE, sobretudo a partir de 2017. A queda no volume de patentes nos últimos anos pode ser parcialmente explicada pelo período de confidencialidade de patentes de 18 meses (INPI, 2020). A tendência de crescimento das inovações em reciclagem de REEE reflete a preocupação mundial com a gestão de REEE e recuperação de materiais, sobretudo materiais críticos para a transição energética (Castro et al., 2023; Brusselsaers & Gillabel, 2024).

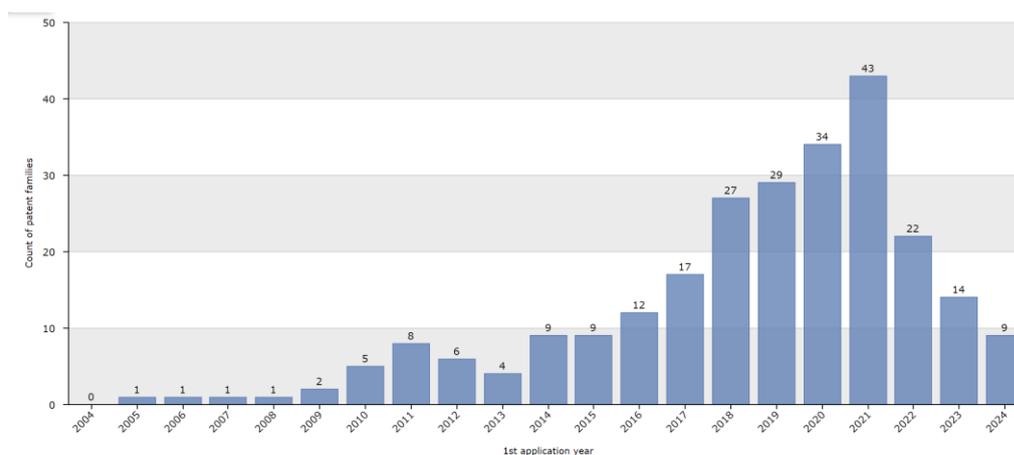


Figura 1. Número de depósito de patentes por ano (primeiro depósito).

A China é o maior gerador mundial de REEE. Nos últimos anos, o governo chinês introduziu uma série de incentivos como subsídios e apoio político (Gollakota et al., 2020). A distribuição de patentes de reciclagem de REEE por países prioritários indica que a maioria foi protegida na China. Além disso, o governo chinês também introduziu leis e regulamentos relevantes para fortalecer a gestão padronizada da reciclagem de lixo eletrônico (Yin et al., 2024). Entre as iniciativas da China para apoiar projetos de economia circular e desenvolvimento sustentável estão as metas de reciclar 50% do REEE até 2025 e a inclusão de 20% de materiais secundários na produção de eletroeletrônicos. A Europa é líder na reciclagem de REEE (42%) e possui regulamentação e programas para a logística reversa, circularidade e reciclagem de REEE (Castro et al., 2023; Brusselaers & Gillabel, 2024), mas de acordo com os resultados desse estudo, esses esforços ainda não se traduzem em aumento no depósito de patentes (Figura 2).

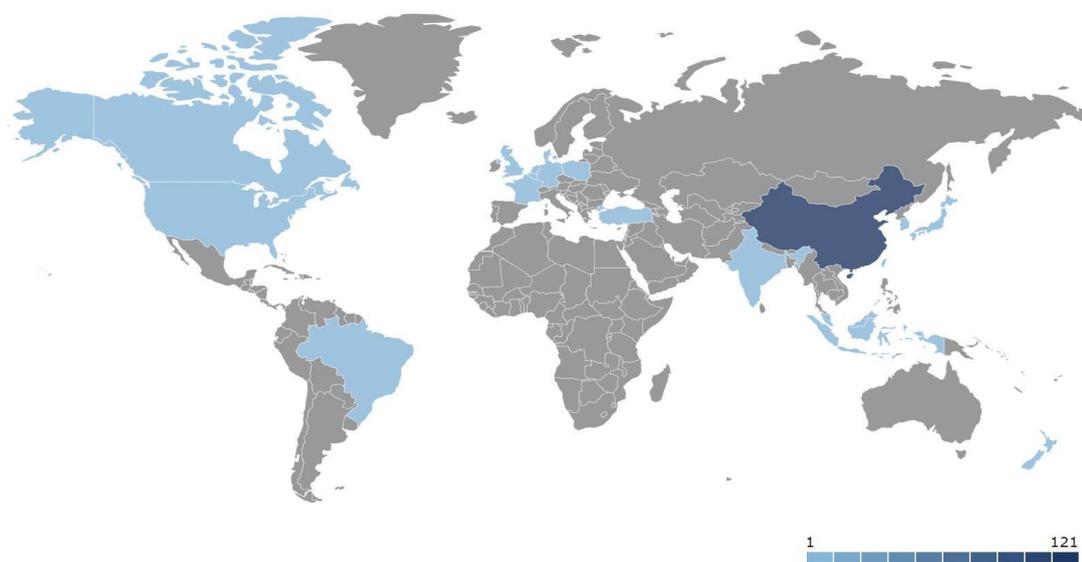


Figura 2. Número de patentes por país de proteção.

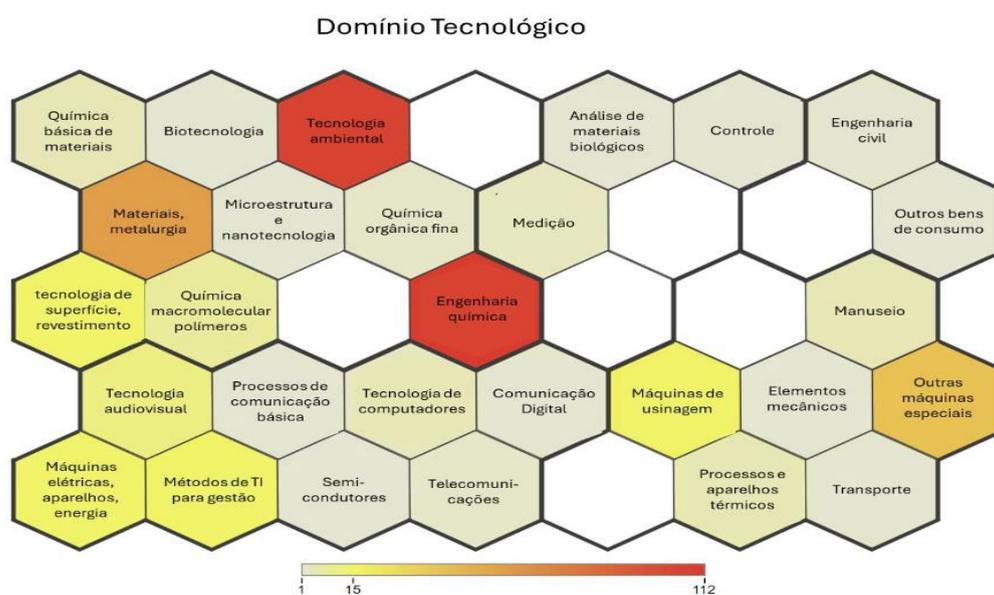


Figura 3. Distribuição de patentes por domínio tecnológico.

Os documentos de patente prospectados distribuem-se em diferentes áreas de domínio tecnológicos, com destaque à Engenharia Química, Tecnologia Ambiental e Materiais e Metalurgia e Equipamentos (máquinas) (Figura 3). A concentração de patentes nessas áreas confirma o atual uso de técnicas de hidrometalurgia e metalúrgicas para a recuperação de materiais a partir de REEE, notadamente metais (Dutta et al. 2023).

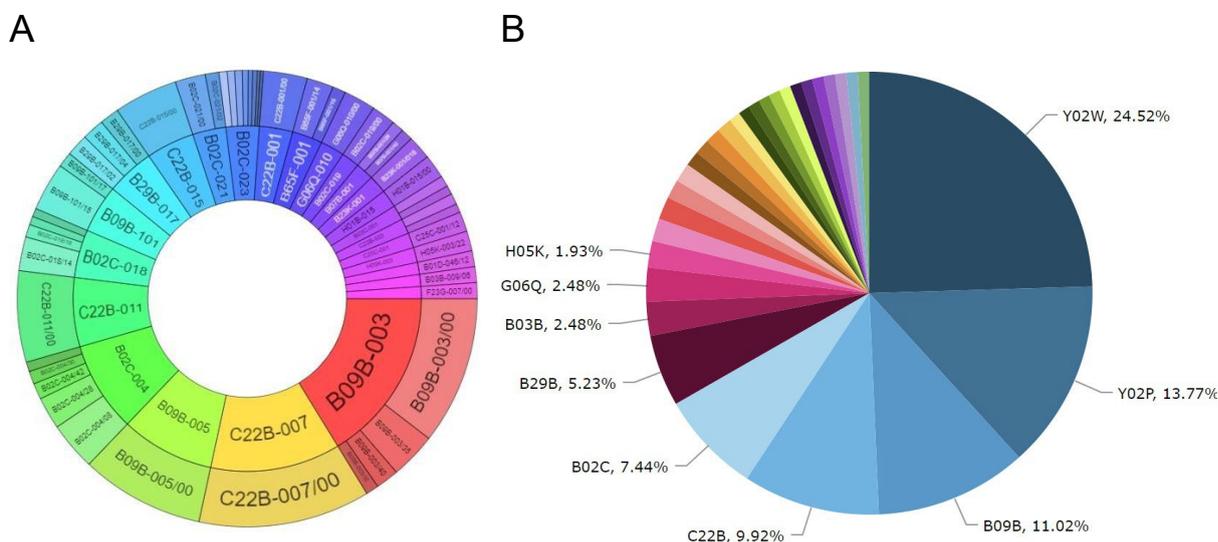


Figura 4. Classificação das patentes, IPC (a) e CPC (b).

A maioria das patentes pertence às seções B e C da Classificação Internacional de Patentes (IPC), respectivamente, “operações de processamento” e “química, metalúrgica” (Figura 4 a). A tabela 1 apresenta a descrição das classificações IPC de maior recorrência no resultado da análise.

Tabela 1. Classificação IPC - descrição das seções de maior recorrência.

Descrição das seções prevalentes na Classificação Internacional de Patentes (IPC)
<u>B09: Eliminação de resíduos sólidos; recuperação de solo contaminado</u>
B09B 3/00 - Destruir resíduos sólidos ou transformar resíduos sólidos em algo útil ou inofensivo
B09B 5/00 - Operações não abrangidas por nenhuma outra subclasse ou por outro único grupo desta subclasse
<u>C22B - Produção ou refino de metais; pré-tratamento de matérias-primas</u>
C22B 7/00 - Processamento de matérias-primas que não sejam minérios, por ex. sucata, para produzir metais não ferrosos ou compostos dos mesmos
C22B 11/00 - Obtenção de metais nobres

O Sistema de Classificação CPC apresenta uma classe específica para novos desenvolvimentos tecnológicos, a classe Y. As subclasses CPC com maior recorrência nas patentes prospectadas foram Y02W (tecnologias de mitigação das mudanças climáticas relacionadas ao tratamento de água residual ou gestão de resíduos) e Y02P (tecnologias de mitigação das mudanças climáticas na produção ou processamento de bens) (Figura 4b).

5. Conclusão

A gestão e a reciclagem de REEE são desafios globais. O recente desenvolvimento tecnológico para a recuperação de materiais a partir de REEE é evidenciado pelo crescente número de depósito de patentes para a reciclagem, sobretudo nos últimos anos. A concentração de patentes em áreas de domínio tecnológico de engenharia química e metalurgia indica a utilização de técnicas de hidrometalurgia e metalurgia para a recuperação de metais a partir de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos. De acordo com o número de patentes depositadas, a China parece estar na vanguarda da inovação tecnológica para a reciclagem de REEE. Esse estudo apresentou o resultado da busca por patentes a partir de palavras-chave em títulos e resumos. Como sequência da pesquisa, uma segunda prospecção será realizada a partir dos códigos IPC e CPC identificados a partir da primeira busca com o objetivo de possibilitar uma análise mais completa da inovação no setor.

6. Agradecimentos

Agradeço à Lúcia Xavier, à equipe R3minare e Recuper3. Agradeço ao CNPq, pelo apoio financeiro em forma de concessão de bolsa (302164/2024-4) e ao CETEM pelo apoio tecnológico.

7. Referências Bibliográficas

BALDÉ, C.P., KUEHR, R., YAMAMOTO, T., MCDONALD, R., D'ANGELO, E., ALTHAF, BEL, G., DEUBZER, O., FERNANDEZ-CUBILLO, E., FORTI, V., GRAY, V., HERAT, S., HONDA, S., IATTONI, G., KHETRIWAL, D.S., CORTEMIGLIA, V.L.D., LOBUNTSOVA, Y., NNOROM, I., PRALAT, N., WAGNER, M. (2024). International Telecommunication Union (ITU) and United Nations Institute for Training and Research (UNITAR). 2024. **Global E-waste Monitor 2024**. Geneva/Bonn.

BRUSSELAERS, J., & GILLABEL, J. (2024). How circular is the European policy landscape?. *Circular Economy and Sustainability*, 1-27.

CASTRO, F. D., JÚNIOR, A. B. B., BASSIN, J. P., TENÓRIO, J., CUTAIA, L., VACCARI, M., & ESPINOSA, D. (2023). E-waste policies and implementation: a global perspective. In *Waste management and resource recycling in the developing world* (pp. 271-307). Elsevier.

de PAULO, A. F., de OLIVEIRA GRAEFF, C. F., & PORTO, G. S. (2023). Uncovering emerging photovoltaic technologies based on patent analysis. *World Patent Information*, 73, 102181.

DUTTA, D., RAUTELA, R., GUJJALA, L. K. S., KUNDU, D., SHARMA, P., TEMBHARE, M., & KUMAR, S. (2023).

A review on recovery processes of metals from E-waste: A green perspective. *Science of the Total Environment*, 859, 160391.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL (INPI). **Patentes**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/perguntas-frequentes/patentes> Acesso em: 14 ago 2024.

VASQUES, A. C. **Relatório técnico 83: reciclagem de metais no país**. Brasília: Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Ministério de Minas e Energia, 2009.

XAVIER, L. H., OTTONI, M., & ABREU, L. P. P. (2023). A comprehensive review of urban mining and the value recovery from e-waste materials. *Resources, Conservation and Recycling*, 190, 106840.

YANG, D., LEE, J., SONG, N. C., LEE, S., KIM, S., LEE, S., & CHOI, S. (2023). Patent analysis on green hydrogen technology for future promising technologies. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(83), 32241-32260.

YIN, H., QU, Y., & JIA, H. (2024). Target setting and performance analysis: Promoting e-waste collection in China under the collection target responsibility models. *Journal of Environmental Management*, 356, 120652.