

# **A MINERAÇÃO URBANA DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS PODE REDUZIR AS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA?**

## **CAN URBAN MINING OF WEEE REDUCE GHG EMISSIONS?**

**Larissa Sampaio Freire**

Aluna de Graduação da Engenharia Ambiental 9º período

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Período PIBIC: abril de 2021 a dezembro de 2021

larissafreire31@poli.ufrj.br

**Lúcia Helena Xavier**

Orientadora, Engenharia de Produção, D.Sc.

lxavier@cetem.gov.br

### **RESUMO**

A alta geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) atrelada às baixas taxas de reciclagem a nível mundial demandam maior necessidade de extração de matérias primas primárias e consequentes maiores níveis de emissões de GEE. A mineração urbana, baseada em princípios da economia circular, surge como uma alternativa para mitigar tais problemas, pois apresenta significativamente menos danos ao meio ambiente do que a mineração tradicional. Entretanto, a mineração urbana também gera impactos devido às tecnologias disponíveis atualmente para a reciclagem de REEE, as quais variam geograficamente. Assim, o presente estudo almeja avaliar, a partir de uma revisão da literatura, se a mineração urbana de REEE contribui para a redução de emissões de GEE. A maioria dos trabalhos analisados concluem que este método é mais benéfico, mas seu alto consumo energético sendo majoritariamente de fonte fóssil confere uma alta pegada de carbono, e que devido aos diversos fatores que afetam o meio ambiente associados aos processos de reciclagem ainda não é possível obter uma visão mais ampla dos impactos. Para aumentar os benefícios da mineração urbana, além de aumentar os níveis de reciclagem de REEE, é preciso adotar práticas de produção e consumo mais conscientes. Devido à escassez de publicações específicas, ainda não foi possível obter totalmente os impactos ambientais da mineração urbana no âmbito das emissões de GEE, necessitando de análises mais aprofundadas no tema e de forma a comparar com a mineração tradicional.

**Palavras-chave:** Mineração Urbana, REEE, GEE, Pegada de Carbono.

### **ABSTRACT**

The high generation of waste from electrical and electronic equipment (WEEE) coupled with low recycling rates worldwide demand a greater need to extract primary raw materials and, consequently, higher levels of greenhouse gas (GHG) emissions. Urban mining, based on circular economy principles, comes up as an alternative to mitigate such problems, as it presents significantly less damage to the environment than traditional mining. However, urban mining also generates impacts due to currently available technologies for recycling WEEE, which vary geographically. Thus, this study aims to assess, from a literature review, whether urban mining of WEEE contributes to the reduction of GHG emissions. Most of the analyzed studies conclude that this method is more beneficial, but its high energy consumption, being mostly from fossil sources, confers a high carbon footprint, and that due to the various factors that affect the environment associated with recycling processes it is not possible to get a broader view of impacts yet. In order to increase the benefits of urban mining, in addition to increasing the levels of recycling of WEEE, it is necessary to adopt more conscious production and consumption practices. Due to the scarcity of specific publications, it has not been possible to fully obtain the environmental impacts of urban mining within the scope of GHG emissions yet, requiring more in-depth analysis on the subject and to compare with traditional mining.

**Keywords:** Urban Mining, WEEE, GHG Emissions, Carbon Footprint.

## 1. INTRODUÇÃO

A alta geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE), a qual vem crescendo rapidamente a uma taxa de 2 Mt/ano (FORTI et al., 2020), quando somada aos baixos níveis de aproveitamento, acarreta na maior necessidade de extração de matérias primas primárias e, por consequência, em maiores emissões de gases de efeito estufa (GEE) (XAVIER & LINS, 2018). O gerenciamento inadequado desses aparelhos pode gerar impactos, como é o caso dos refrigeradores descartados, que, em 2019, resultaram na emissão de 98 Mt de CO<sub>2</sub> equivalente, representando 0,3% do total das emissões globais do setor energético (FORTI et al., 2020). Por outro lado, a reciclagem desses resíduos pode mitigar esse problema. Por exemplo, em 2019, a reciclagem de ferro, alumínio, e cobre evitou a emissão de 15 Mt de CO<sub>2</sub> (FORTI et al., 2020).

Nesse contexto, a mineração urbana envolve a coleta e descaracterização de resíduos eletrônicos para reaproveitamento desses como matéria prima secundária, diferentemente da mineração tradicional, que extrai minérios diretamente das minas virgens, podendo gerar diversos impactos ambientais (XAVIER & LINS, 2018). Por se basear em princípios da economia circular, a mineração urbana contribui para a valorização econômica, minimização dos resíduos e da exploração de recursos naturais escassos (XAVIER & LINS, 2018).

No entanto, a mineração secundária também apresenta pontos negativos, pois as tecnologias disponíveis atualmente para a reciclagem de REEE geram efeitos danosos ao meio ambiente e variam com o local, o que segundo GROOT & PISTORIUS (2008) dificulta determinar seu impacto total no meio ambiente. Somado a isso, ainda são poucos os estudos sobre os impactos da mineração urbana de REEE quanto às emissões de GEE.

## 2. OBJETIVOS

Dessa forma, o presente estudo almeja avaliar se a mineração urbana de REEE pode contribuir para a redução de emissões de GEE, indicando seus prós e contras por meio de revisão bibliográfica.

## 3. METODOLOGIA

Este estudo reúne os resultados encontrados até então da pesquisa desenvolvida de abril de 2021 a julho de 2021. A metodologia aplicada se baseou em revisão bibliográfica e, para isso, foram estabelecidos alguns critérios de busca que levaram em conta os seguintes passos: (i) definição do tema geral; (ii) delimitação do tema geral; (iii) palavras-chave buscadas; (iv) sites de busca utilizados.

No primeiro passo, foi definido como tema geral a “mineração urbana”. No segundo passo, como delimitação do tema geral foi estabelecida como “os impactos ambientais da mineração urbana no âmbito das emissões de GEE”. No terceiro passo, as palavras-chave buscadas em inglês para maior abrangência de artigos foram “*urban mining*”, “*secondary mining*”, “*emissions*”, “*material recycling*”, “*electronic waste*”, “*e-waste recycling*”, “*life cycle assessment*” e “*metal scrap*”. E, no último passo, os sites de busca pelos artigos foram *Science Direct*, *Wiley Online Library*, *Google Scholar* e Periódicos Capes.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da revisão bibliográfica os principais resultados encontrados dos trabalhos analisados foram elencados e comparados entre si, os quais foram dispostos na Tabela 1.

**Tabela 1.** Artigos analisados nesta revisão e seus principais resultados.

<b>Autor</b>	<b>Resultados principais</b>
Pokhrel, Lin & Tsai (2020)	Apenas o ouro apresentou maiores impactos no meio ambiente quando extraído de fonte primária. Para os demais metais, a reciclagem por meio de resíduos de PCBs apresentou maiores impactos ambientais do que a obtenção desses por fonte primária.
Farjana & Li (2021)	O ouro deve ser produzido apenas por fontes secundárias pelo alto impacto ambiental apresentado quando extraído da lavra. A produção secundária não é tão benéfica no sentido de mitigação do esgotamento de metais, recursos e combustíveis fósseis, mas apresenta menor consumo de eletricidade e calor na produção em comparação com a produção primária, além de reduzir a contaminação de metais em água doce por meio de menor emissão de nitrogênio e fósforo. Porém, mesmo aumentando a eficiência de recuperação e separação não ajudaria muito a reduzir o impacto ambiental total.
Zhang et al. (2021)	O cobre secundário causa maior impacto ambiental, devido ao processo de fundição e refino, que utilizam combustíveis fósseis, e de eletricidade no processo de eletrólise.
Nuss & Eckelman (2014)	A maior parte do impacto da mineração secundária vem do processo de purificação e refino, sendo a primeira a mais danosa.
Nilsson et al. (2017)	Apesar de algumas exceções, os metais obtidos a partir de resíduos apresentaram menores índices relacionados à pegada de carbono, mas tal resultado depende muito do conteúdo do metal, da distância de transporte até os recicladores e da facilidade e tecnologia empregada na extração.
Chen et al. (2019)	Os processos de refino e eletrólise foram as principais causas dos impactos ambientais do cobre secundário, devido ao intenso uso energético de fontes fósseis; A mineração secundária gera mais poluentes orgânicos persistentes (POPs) do que a mineração tradicional; O impacto ambiental total do cobre secundário foi apenas 1/8 do processo de produção de cobre primário.
Groot & Pistorius (2008)	O reprocessamento de sucata consome muito menos energia do que a produção primária para todos os metais analisados, porém esse resultado pode variar dependendo da forma de operação de produção/refino do metal utilizada, e do minério.
Priarone et al. (2016)	A reciclagem leva a redução no consumo de energia e de emissões de CO <sub>2</sub> , e devem ser estudadas estratégias de reciclagem que sejam inovadoras e eficientes para minimizar seus impactos ambientais.
Ciacchi et al. (2020)	A mitigação dos impactos ambientais está associada a um cenário que foque no uso de tecnologias mais verdes, bem como em mudanças no padrão atual de produção e consumo de materiais.
Yang et al. (2020)	Os resultados mostraram que a reciclagem de lixo eletrônico ajuda a conservar recursos e energia e contribui significativamente para as metas globais de redução de emissões.
Piskernik (2014)	Os resultados mostraram que além de requerer menos mão de obra e de ser mais rentável, a reciclagem de cobre na Áustria levou a uma redução nas emissões de dióxido de carbono do que na mineração tradicional de cobre no Chile; O processo de mineração libera 78% mais dióxido de carbono do que o processo de reciclagem; Na Áustria são produzidos 1,1 t de dióxido de carbono na mineração secundária de cobre versus 5,2 t na mineração primária.

No geral, a maioria dos trabalhos analisados concluem que a mineração urbana de REEE apresenta mais vantagens do que desvantagens em termos ambientais, mas, ainda assim, essa conclusão possui algumas ressalvas. Os fatores que mais corroboram para conferir à mineração urbana altos índices de pegada de carbono são: (i) conteúdo do metal; (ii) fonte energética utilizada nos processos de reciclagem; (iii) distância percorrida do REEE até o local de reciclagem; (iv) demanda energética, tecnologias e operações utilizadas.

Quanto ao primeiro fator (i), dependendo da composição do metal, tem-se a possibilidade de liberar mais GEE no ambiente, pois no trabalho de NILSSON et al. (2017) a pegada de carbono do processamento de sucata que apresentava baixo teor de um determinado metal foi cerca de três vezes maior do que a de sucata com alto teor.

Em relação ao segundo fator (ii) relacionado a fonte energética utilizada, ZHANG et al. (2021), NUSS & ECKELMAN (2014), e CHEN et al. (2019) abordam que os processos de fundição, purificação, refino e eletrólise concentram os maiores índices de impactos ambientais no âmbito de emissões de gases de efeito estufa na mineração urbana, pois demandam alto consumo de energia e que na maior parte dos países é proveniente de fonte fóssil.

O terceiro fator (iii) não foi abordado com muitos detalhes em nenhum dos trabalhos analisados, apenas foi brevemente mencionado no estudo de NILSSON et al. (2017). Segundo os autores, mesmo não sendo um fator muito significativo no sentido de emissões de GEE frente aos demais processos, representando apenas 5% da pegada de carbono, a distância pode fazer com que a reciclagem apresente um alto impacto ambiental (NILSSON et al., 2017). Ressalta-se, ainda, que esse aspecto é particularmente importante, dado que a literatura aponta para a exportação de resíduos gerados por países desenvolvidos para serem gerenciados em outras nações (ILANKOON et al., 2018).

Já com relação ao último fator (iv), foi encontrado que a mineração urbana demanda um alto consumo energético, porém, ainda assim, é relativamente menor quando comparado com a demanda na mineração tradicional (FARJANA & LI, 2021; GROOT & PISTORIUS, 2008). Contudo, esses processos dependem da facilidade de extração dos minérios e da tecnologia ou operação utilizada. O fato de o setor de reciclagem ainda ser majoritariamente informal ou formado por pequenas e médias empresas dificulta obter uma visão mais ampla dos impactos, especialmente levando-se em consideração a grande diferença de nível de tecnologia empregada em diferentes países, bem como as políticas implementadas voltadas a reciclagem (CHEN et al., 2019; GROOT & PISTORIUS, 2008).

A mineração urbana apresenta, portanto, prós e contras, mas os pontos positivos superam os negativos. Sua implementação pode contribuir com a redução da contaminação hídrica, diminuição da pressão à extração de recursos naturais finitos e redução das emissões relacionadas ao uso de combustíveis fósseis. Porém, este método por si só não representa reduções muito significativas. Os resultados benéficos apresentados nos estudos geralmente se referem especificamente a um determinado metal, logo não é algo que se pode generalizar. Além disso, para reduções mais significativas nas emissões de GEE, é necessário que, ao mesmo tempo, haja uma mudança nos padrões atuais de produção e consumo, e aumento da utilização de tecnologias de baixo carbono nos processos de mineração urbana. A reciclagem com baixa eficiência não é capaz de suprir a demanda de minérios no longo prazo (FARJANA & LI, 2021; PRIARONE et al., 2016; CIACCI et al., 2020).

## **5. CONCLUSÕES**

Este trabalho indicou alguns fatores que levam a mineração urbana apresentar uma alta pegada de carbono, como principalmente a alta demanda energética e a dependência do uso de combustíveis fósseis no processamento, bem como do tipo de tecnologia utilizada para tal. Além disso, a reciclagem de REEE é entendida como opção mais preferível em comparação com a mineração tradicional no sentido de obtenção de matéria prima, por apresentar potencial de redução de impactos ambientais, como as emissões de GEE. A mineração urbana aliada ao uso de tecnologias de baixo carbono e padrões de produção e consumo mais conscientes podem aumentar a eficiência desse método, garantindo ainda mais sustentabilidade ao processo. Contudo, conclui-se que ainda não foi possível responder à pergunta inicial proposta pelo título em sua totalidade devido à escassa quantidade de publicações que abordam especificamente os impactos ambientais da mineração urbana no âmbito das emissões de GEE de forma mais aprofundada, o que indica possíveis passos para futuros estudos.

## **6. AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao CETEM e PIBIC pela bolsa concedida, através do Projeto R3MINARE, e à toda a equipe do projeto pelo apoio durante a realização da pesquisa.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHEN, J. et al. Environmental benefits of secondary copper from primary copper based on life cycle assessment in China. **Resources, Conservation and Recycling**, v.146, p.35-44, 2019.

CIACCI, L. et al. Exploring future copper demand, recycling and associated greenhouse gas emissions in the EU-28. **Global Environmental Change**, v.63, p.102093, 2020.

FARJANA, S. H.; LI, W. Integrated LCA-MFA Framework for Gold Production from Primary and Secondary Sources. **Procedia CIRP**, v.98, p.511-516, 2021.

FORTI, V. et al. **The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential**. Bonn, Geneva and Rotterdam: United Nations University/United Nations Institute for Training and Research, International Telecommunication Union, and International Solid Waste Association, 2020. 120 p. Disponível em: <ewastemonitor.info>. Acesso em: 14 jul. 2021.

GROOT, D. R.; PISTORIUS, P. C. Can we decrease the ecological footprint of base metal production by recycling? **Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy**, v.108, p.161-169, 2008.

ILANKOON, I.M.S.K. et al. E-waste in the international context – A review of trade flows, regulations, hazards, waste management strategies and technologies for value recovery. **Waste Management**, v.82, p.258–275, 2018.

NILSSON, A. E. et al A review of the carbon footprint of Cu and Zn production from primary and secondary sources. **Minerals**, v.7, p.168, 2017.

NUSS, P.; ECKELMAN, M. J. Life cycle assessment of metals: a scientific synthesis. **PloS one**, v.9, p.e101298, 2014.

PISKERNIK, L. A. **A comparison of the effects of primary copper mining in Chile and secondary copper mining in Austria and the resulting CO2 emissions and economic revenues**. 2014. 47p. Dissertação (Mestrado) - Programa de mestrado em Tecnologia Ambiental e Assuntos Internacionais, Vienna School of International Studies, Vienna (Áustria).

POKHREL, P.; LIN, S. L.; TSAI, C. T. Environmental and economic performance analysis of recycling waste printed circuit boards using life cycle assessment. **Journal of Environmental Management**, v.276, p.111276, 2020.

PRIARONE, P. C. et al. On the impact of recycling strategies on energy demand and CO2 emissions when manufacturing Al-based components. **Procedia Cirp**, v.48, p.194-199, 2016.

XAVIER, L. H.; LINS, F. A. F. Mineração Urbana de resíduos eletroeletrônicos: uma nova fronteira a explorar no Brasil. **Brasil Mineral**, v.379, p.22-26, 2018.

YANG, H. et al. Emission reduction benefits and efficiency of e-waste recycling in China. **Waste Management**, v. 102, p. 541-549, 2020.

ZHANG, W. et al. Analyzing the environmental impact of copper-based mixed waste recycling-a LCA case study in China. **Journal of Cleaner Production**, v.284, p.125256, 2021.