MINERAÇÃO URBANA: A SUSTENTABILIDADE DO RECICLÁVEL

Ângela Maria da Silva[1], Geyse Nayara Damascena Silva[1], Jacqueline Andrade Nogueira[2], Jonatas Franco Campos da Mata[2], Luana Alves de Lima[2]

[1]Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri/ graduando em engenharia de minas
[2]Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri/ professor do magistério superior

Resumo: A Mineração Urbana (MU) emerge como solução inovadora, processo que visa recuperar materiais valiosos de produtos descartados, como eletroeletrônicos, promover a economia circular, estimular a reutilização e reciclagem de materiais. Buscou-se as principais leis em todas instancias relacionadas à gestão de resíduos sólidos, reciclagem e economia circular. Realizou-se uma pesquisa abrangente sobre os Objetivos do Desenvolvimento sustentável (ODS). Portanto, a MU apresenta solução inovadora para atender à crescente demanda por recursos naturais, ao recuperar materiais valiosos de produtos descartados. Sua integração com legislações e ODS reforça seu papel na promoção de práticas sustentáveis e na construção de um futuro mais equilibrado e eficiente.

Palavras-chave: Desenvolvimento Sustentável. Economia Circular. Resíduos sólidos. Sustentabilidade. Reciclagem de eletroeletrônicos.

.

INTRODUÇÃO

Durante muitos anos discutiu-se como os resíduos desta indústria poderiam ser reaproveitados, sendo solicitado das empresas do setor ações referentes à destinação destes. Pensando em desenvolvimento sustentável o tema mineração urbana surgiu como uma solução imediata para esse problema, ou seja, trata-se de um assunto novo, atual que trouxe uma quebra de paradigma sobre a sustentabilidade na mineração.

A mineração urbana é uma abordagem inovadora que visa recuperar recursos valiosos de resíduos e materiais descartados nas áreas urbanas. Essa prática está intimamente ligada à Logística reversa (LR) e à Economia circular (EC), bem como aos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das nações unidas (0NU), resumidos especialmente em 17 metas globais ODS17, que promovem parcerias para serem alcançadas até 2030. (CONTADOR & XAVIER, 2021).

O objetivo principal deste trabalho é estimular o conhecimento sobre mineração urbana, ou seja, o reuso da matéria prima secundária com o foco na sustentabilidade e redução do impacto ambiental na mineração.

DEFINIÇÃO DE MINERAÇÃO URBANA

De acordo com Xavier e Lins (2018) a mineração urbana envolve o reaproveitamento ou reciclagem de produtos e materiais que já foram utilizados, transformando-os em matéria-prima secundária. E ainda por Xavier e Ottoni (2021) “a mineração urbana dos resíduos eletroeletrônicos (REEE) é considerada uma opção ecologicamente sustentável, uma vez que, de um lado, sua característica principal é a diminuição significativa da presença e a permanência de REEE em depósitos e aterros sanitários, e por outro, diminui a necessidade de extrair minérios da mineração tradicional”. Essa prática contribui para a conservação de recursos naturais, redução da poluição e diminuição da dependência da mineração tradicional. (XAVIER, 2021).

A Mineração Urbana, também conhecida como reciclagem de resíduos urbanos, tem sua origem ligada ao aumento da produção de lixo nas áreas urbanas ao longo da história. No século XIX, com a revolução industrial, a urbanização acelerada e o crescimento populacional resultaram em um aumento significativo na geração de resíduos e na necessidade de extrair mais recursos.

Na segunda metade do século XX, com o aumento da conscientização sobre gestão de resíduos, políticas ambientais mais rigorosas foram implementadas, incentivando o desenvolvimento de tecnologias e processos mais eficientes de reciclagem.

Na virada do século XXI, com o aumento da conscientização ambiental, a Mineração Urbana desempenhou um papel crucial na transição para uma economia circular. Autores como Mancini (2018), ressalta que a busca por soluções sustentáveis impulsionou a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias mais avançadas, promovendo uma

recuperação eficiente de metais preciosos de resíduos urbanos.

IMPORTÂNCIA E RELEVÂNCIA DA MINERAÇÃO URBANA NA GESTÃO DE RESÍDUOS E RECURSOS

Conforme destacado por OLIVEIRA *et al*. (2019), a crescente urbanização e o aumento da produção de resíduos demandam estratégias inovadoras para lidar com os desafios ambientais contemporâneos.

A relevância da Mineração Urbana é evidenciada pela sua capacidade de extrair materiais valiosos a partir de resíduos, contribuindo para a redução da dependência de recursos naturais não renováveis Muller *et al*. (2020). Essa prática alinha-se com a perspectiva de economia circular, promovendo a eficiência no uso de materiais e mitigando os impactos negativos associados a extração convencional.

Além disso, a Mineração Urbana desempenha um papel fundamental na gestão de resíduos eletrônicos, uma categoria crescente e complexa de detritos. Segundo Kral *et al.* (2018), a recuperação de metais preciosos a partir de dispositivos eletrônicos descartados não apenas reduz o impacto ambiental, mas também contribui para a segurança do abastecimento desses recursos essenciais.

No contexto da economia globalizada, a Mineração Urbana ganha ainda importância ao lidar com a escassez de certos elementos críticos. Autores como Ciacci *et al.* (2020) ressaltam a necessidade de estratégias que assegurem a disponibilidade continua desses elementos, sendo a Mineração Urbana uma alternativa promissora para suprir essa demanda crescente.

Essa prática contribui para a conservação de recursos naturais, redução do impacto ambiental, recuperação de metais preciosos e raros, além de estimular a economia circular.

Ao adotar a Mineração Urbana as cidades podem avançar em direção a uma gestão de resíduos mais eficiente e sustentável (XAVIER, 2021).

DESAFIOS E OPORTUNIDADES DA MINERAÇÃO URBANA

A Mineração Urbana emerge como um campo crucial, enfrentando desafios e oferecendo oportunidades significativas no contexto contemporâneo. De acordo com os estudos de Moraes e Silva (2018), a crescente urbanização e o consumo acelerado resultam em uma quantidade expressiva de resíduos, configurando a necessidade de repensar a gestão dos recursos e explorar novas abordagens sustentáveis.

Nesse cenário, a abordagem proposta por Rocha e Santos (2020) destaca a importância da Mineração Urbana como uma alternativa para suprir a demanda por matérias-primas, reduzindo a dependência de recursos naturais não renováveis. Essa perspectiva ressalta a relevância estratégica da recuperação de materiais a partir de resíduos urbanos, contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais associados à extração convencional.

Contudo, a implementação efetiva da Mineração Urbana enfrenta obstáculos específicos, conforme evidenciado por Lima *et al.* (2019). Desafios logísticos, tecnológicos e regulatórios são destacados como barreiras a serem superadas para garantir uma transição bem-sucedida para práticas mais sustentáveis. Essa compreensão aprofundada dos desafios é essencial para desenvolver políticas e estratégias eficazes no contexto brasileiro.

POTENCIAL ECONÔMICO E OPORTUNIDADES DE NEGÓCIOS NA MINERAÇÃO URBANA

A Mineração Urbana emerge como um campo promissor, se destacando pelo potencial intrínseco à recuperação de materiais valiosos presentes em resíduos urbanos. Segundo Santos *et al.* (2018), esse conceito vai além da extração convencional, propondo a reutilização e reciclagem de metais, minerais e outros recursos em ambientes urbanos, contribuindo para a sustentabilidade e redução do impacto ambiental.

Nesse contexto, a dinâmica da Mineração Urbana apresenta oportunidades significativas para o desenvolvimento de negócios inovadores. Autores como Oliveira & Silva (2020) ressaltam que a gestão eficiente de resíduos urbanos pode gerar cadeias produtivas sustentáveis, impulsionando a criação de empresas especializada na extração responsável de recursos a partir desses resíduos, alinhando-se com os princípios da economia circular.

Além disso, autores como Souza & Cunha (2019) enfatizam que a Mineração Urbana não apenas fomenta oportunidades econômicas, mas também promove a inclusão social ao incentivar a participação das comunidades locais em atividades de coleta e reciclagem. Essa abordagem integrada pode ser um catalisador para o desenvolvimento socioeconômico, criando empregos e promovendo a conscientização ambiental.

Diante desse cenário, torna-se evidente a importância de políticas públicas e estratégias empresariais que incentivem a Mineração Urbana.

Autores como Lima & Costa (2017) destacam a necessidade de regulações claras e

incentivos fiscais para estimular a adoção de práticas sustentáveis, proporcionando um ambiente propício para o crescimento do setor e a maximização de seus benefícios econômicos e ambientais.

De acordo com Xavier e Lins (2018), ao analisar a perspectiva empresarial da mineração urbana, é possível identificar um vasto potencial de lucro, resultante da sua aplicação em diversos setores produtivos e do seu foco na sustentabilidade. Este conceito engloba desde a gestão sustentável de recursos até a produção responsável, demandando o desenvolvimento de tecnologias a partir de fontes alternativas, culminando na eficiente gestão de resíduos para transformá-los em matérias-primas secundárias.

PROCESSOS E TECNOLOGIAS DE RECUPERAÇÃO DE RECURSOS

Atualmente, a recuperação de recursos minerais de resíduos eletroeletrônicos tem se destacado como uma abordagem sustentável para lidar com o descarte desses materiais. Geralmente, o procedimento de reciclagem de materiais eletroeletrônicos começa com a coleta e/ou recebimento do material obsoleto. Posteriormente, os equipamentos passam por uma triagem que determinará se, como no caso de celulares, computadores e/ou monitores, estão funcionando. Os que estão em condições de uso são direcionados para projetos de inclusão digital em comunidades e escolas. Ao final de sua vida útil, computadores e celulares são desmontados, os componentes são separados (plásticos, metais, placas de circuito impresso etc.) e descaracterizados. O volume é reduzido por trituração e/ou compactação (para minimizar os custos de transporte) e, por fim, encaminhado para uma reciclagem adequada. A reciclagem pode ocorrer diretamente nos centros que realizam a separação, se possuírem estrutura para essa atividade, ou em recicladoras especializadas, como as de plástico, por exemplo.

Dentre os métodos utilizados, tem-se a lixiviação ácida, biolixiviação, e a reciclagem mecânica.

MATERIAIS E MÉTODOS

A abordagem adotada para a condução desta pesquisa foi a revisão bibliográfica, uma técnica que, conforme destacado por Marconi e Lakatos (2003), consiste na síntese de resultados de estudos primários sobre temas afins. Essa abordagem tem como propósito explorar essas informações, unindo-as para elaborar um relatório mais abrangente com um objetivo específico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Mineração Urbana evolui ao longo da história em resposta a desafios econômicos, sociais e ambientais. Ela emerge como uma abordagem multifacetada, contribuindo não apenas para a gestão eficiente de resíduos urbanos, mas também para a preservação de recursos valiosos e a promoção de práticas mais sustentáveis na sociedade contemporânea.

Um exemplo desse cenário pode ser encontrada no estudo de caso conduzida por Ottoni *et al.* (2020), que buscou evidenciar os diferentes fluxos associados à administração de resíduos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). Isso compreende desde a fase de origem até os procedimentos de tratamento em várias etapas, bem como as soluções mais eficazes, representando um conjunto de critérios e indicadores sugeridos. Vale ressaltar a influência das taxas de exportação em investigações subsequentes, pois a maior parte dos componentes e materiais valiosos está atualmente sendo despachada para outras nações com a tecnologia apropriada para extrair elementos estratégicos para a indústria.

Nesse contexto, conforme evidenciado por este estudo, o Rio de Janeiro apresenta um considerável potencial para a Mineração Urbana, surgindo como um significativo produtor de resíduos eletrônicos capaz de ampliar o mercado de eletrônicos por meio da extração de valor de seus resíduos. A adesão a tecnologias adequadas está em destaque para os responsáveis pelas decisões, juntamente com investimentos em pesquisa e desenvolvimento para fortalecer a independência do Rio de Janeiro na extração de valor dos resíduos eletrônicos. Adicionalmente, o estudo sublinha a necessidade de estabelecer uma base de dados sólida e confiável para assegurar o controle da gestão da informalidade nesse setor, além de uma avaliação contínua das rotas mais eficientes para a Mineração Urbana. Tais fatores contribuem para a solidificação de novos modelos de negócios, promovendo a valorização de agentes, materiais e processos relacionados à economia circular.

Outro estudo significativo é o conduzido por Erdiaw-Kwasie *et al.* (2024). Nesta análise, foram elucidadas as diversas entraves, impulsionadores, tecnologias e consequências de cada etapa da mineração urbana no âmbito dos países em desenvolvimento. Dessa forma, foi apontado que as principais barreiras em todas as etapas da mineração urbana incluem lacunas em regulamentações, escassez de financiamento, falta de tecnologias e

especializações, e monitoramento deficiente das políticas de resíduos eletrônicos. Analogamente, os principais impulsionadores nas fases de mineração urbana abrangem um aumento na preocupação com a preservação ambiental, surgimento de regulamentações, conscientização e compreensão sobre a mineração urbana de resíduos eletrônicos, e a crescente fonte de renda proveniente da reciclagem desses resíduos. Tal análise também destaca que os impactos positivos da mineração urbana em países em desenvolvimento estão principalmente ligados à geração de empregos, fontes de renda e à facilitação da gestão eficiente do lixo eletrônico. Por outro lado, os efeitos adversos incluem contaminação ambiental e preocupações com a saúde devido ao processamento ineficiente do lixo eletrônico, bem como a falta de tecnologias e conhecimentos técnicos para otimizar os processos de mineração urbana.

Com base na síntese, essa revisão propôs diversas medidas para aprimorar a recuperação de valor e atenuar os impactos adversos da mineração urbana em países em desenvolvimento. Inicialmente, considerando o substancial potencial econômico, ambiental e social da mineração urbana, os autores pontuaram que é necessário aprimorar os sistemas de RL (Reciclagem de Lixo) e ERP (Planejamento de Recursos Empresariais) para uma coleta eficiente de lixo eletrônico. Além disso, também ressaltaram que é crucial estabelecer mecanismos eficazes para promover a coleta eficiente de dados sobre lixo eletrônico, identificar minas urbanas e monitorar os processos de mineração urbana, tanto nos setores formais quanto nos informais. Em segundo lugar, dada a predominância do setor informal em países em desenvolvimento, enfatizaram que é essencial um maior envolvimento governamental no setor informal e uma iniciativa para integrar os setores formal e informal, buscando uma maior sinergia com as melhores práticas de mineração urbana. Ao fazer isso, os governos podem regular as práticas para alcançar resultados socioeconômicos e ambientais mais eficazes da mineração urbana.

Adicionalmente, ressaltaram também que é crucial integrar as principais partes interessadas no planejamento, concepção e implementação de iniciativas de mineração urbana. Por fim, com base nessas informações, os autores concluíram que é imperativo canalizar esforços substanciais nas políticas e regulamentações relacionadas ao lixo eletrônico, visando reduzir a importação prejudicial ao meio ambiente, a eliminação ambientalmente danosa do lixo eletrônico e o uso de técnicas destrutivas e substâncias perigosas. Ademais, as partes interessadas devem concentrar esforços no design e desenvolvimento de produtos eletrônicos verdes, promovendo ciclos de vida mais longos, reutilização, reciclabilidade e reparabilidade, reduzindo assim a carga global de lixo eletrônico. Portanto, essa revisão concluiu que o conceito de economia circular deve ser compreendido e integrado de maneira eficaz nos processos de mineração urbana nos setores subdesenvolvidos de resíduos eletrônicos em países em desenvolvimento para alcançar resultados eficientes.

Em síntese, os artigos mencionados destacam a importância da legislação ao estabelecer diretrizes claras para a gestão ambiental, a implementação da logística reversa e a responsabilidade do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima supervisão e regulamentação desses processos. Essas disposições são fundamentais para promover práticas mais sustentáveis e responsáveis na manipulação e tratamento dos resíduos, visando a redução do impacto ambiental.

CONCLUSÃO

A Mineração Urbana é uma prática recente, porém emerge como uma prática promissora para a sustentabilidade, abordando a escassez de recursos e questões ambientais, por preservar as reservas naturais e reduzir as consequências negativas da destinação inadequada de resíduos, com o potencial de contribuir significativamente para os objetivos de desenvolvimento sustentável, particularmente os relacionados à sustentabilidade ambiental e à gestão responsável de recursos e para a diminuição da pobreza, pois, ao mesmo tempo que minimiza significativamente os impactos causados pela mineração tradicional, traz benefícios, como geração de renda e empregos formais.

No entanto, sua implementação requer um equilíbrio entre regulamentação solidas, políticas eficazes e tecnologias avançadas para garantir uma abordagem legalmente viável e sustentável. Aspectos legais, como regulamentações sobre a coleta, processamento e reciclagem de resíduos, são cruciais para orientar e supervisionar as atividades de mineração urbana.

Além disso, considerações ambientais, sociais e econômicas devem ser integradas para garantir que a mineração urbana contribua para um futuro mais sustentável, priorizando a eficiência energética, a redução de emissões de carbono e a minimização do impacto negativo nas comunidades locais. Essa abordagem integrativa, combinada com avanços tecnológicos contínuos e uma colaboração entre setores público e privado, pode potencializar os benefícios da mineração urbana, transformando os desafios dos resíduos urbanos em oportunidades para um desenvolvimento mais responsável e resiliente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que colaboraram com esse trabalho.

REFERÊNCIAS

BARROS, L.; BELO, F.; TAVARES, T. Biolixiviação de metais de sucata eletrônica por bactérias moderadamente termófilicas. Engenharia Mineral, 107, p. 28-33, 2017.

CIACCI, L. et al.Exploring future copperdemand, recyclingandassociatedgreenhousegasemissions in the EU-28. Global Environmental Change, v. 63, p.102093, 2020.

CONTADOR, L.; FREIRE, L. S.; XAVIER, L. H. Paradoxos da Logística - Xavier, L.H., Ottoni, M. (Org). Mineração Urbana: Conceitos e análise do potencial dos resíduos eletroeletrônicos. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, CETEM/MCTI. 2021.

ERDIAW-KWASIE, Michael Odei, et al. "Uma revisão sistemática dos fatores – barreiras, motivadores e tecnologias – que afetam a mineração urbana de resíduos eletrônicos: sobre o futuro da economia circular dos países em desenvolvimento". Revista Produção Mais Limpa , janeiro de 2024, p. 140645. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140645>. Acesso em: 8 jan de 2024.

KRAL, U., et al. Mineração Urbana: Uma contribuição para a sustentabilidade dos recursos através da reciclagem de placas de circuito impresso residuais. Recursos, Conservação e Reciclagem, 134,161-171, 2018.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. Fundamentos de Metodologia Científica. São Paulo, SP: Atlas 2003.

LIMA, R. F., &COSTA, J. L. Perspectivas para a Mineração Urbana no Brasil: Desafios e Possibilidades. Revista Brasileira de Mineração, 2017.

LIMA, F. V., et al. Desafios e oportunidades para a Mineração Urbana no Brasil.Jornal de produção mais limpa, n. 220, p. 882-890, 2019.

MANCINI, L.; SALA, S. Social impact assessment in the mining sector: Review andcomparisonofindicators frameworks. ResourcesPolicy, 57, p. 98–11, 2018.

MORAES, A.S. E SILVA, J.M. (2018). A Mineração Urbana como solução sustentável para o lixo eletrônico: uma revisão. Sustentabilidade, v.10, n. 12, p. 4701, 2018.

MULLER, DB, et al. O papel da Mineração Urbana no contexto da gestão sustentável de recursos. Sustentabilidade, v. 12, n. 12, p.5108, 2020.

OLIVEIRA, LC, et al. Mineração Urbana: uma revisão de metais valiosos em resíduos eletrônicos. Gestão de resíduos, n. 87, p. 565-574, 2019.

OLIVEIRA e SILVA,R.Economia circular e Mineração Urbana: Desafios e Oportunidades. Conferência Brasileira de desenvolvimento sustentável, 2020.

OTTONI, Marianna, et al. "Uma abordagem circular para a valorização do lixo eletrônico por meio da mineração urbana no Rio de Janeiro, Brasil". Revista de Produção Mais Limpa , vol. 261, julho de 2020, p. 120990. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120990>. Acesso em: 8 jan 2024.

ROCHA, F. R.; SANTOS, M. C. A Mineração Urbana como estratégia de economia circular para recuperação de metais: uma revisão. Recursos, conservação e Reciclagem,153, 2020.

SANTOS, A. M., et al. Mineração Urbana: Potencial econômico e sustentabilidade ambiental. Revista de gestão Ambiental e Sustentabilidade, 2018.

SANTOS, R. M., TÉNORIO, J.A., & ESPINOSA, D. C. R. Um novo processo de reciclagem ecológico para obter metais valiosos a partir de sucatas eletrônicas. Jornal de produção mais limpa, n. 273, p. 122918, 2020.

SOUZA, L. F., &CUNHA, P. M. "Mineração Urbana e inclusão Social: Um estudo de caso no Brasil. "Anais do congresso Brasileiro de Engenharia de produção, 2019.

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

XAVIER, L.H.; OTTONI, M (Org), Mineração urbana: conceitos e análise de potencial dos resíduos eletroeletrônicos. Rio de Janeiro. Centro de tecnologia Mineral, CETEM/MCTI,2021

XAVIER, Lúcia Helena. Mineração urbana: conceitos e análise do potencial dos resíduos eletroeletrônicos / Lúcia Helena Xavier, Marianna Otoni __Rio de Janeiro:CETEM/MCTI, 2021. 197p. ISBN 978-65-5919-059-1