

Resíduos Sólidos e Covid-19: Desafios e impactos na gestão

Kardelan Arteiro da Silva
Irene Maria Silva de Almeida
Soraya Giovanetti El-Deir
(Org.)

2022



Editora
Universitária
da UFRPE

Resíduos Sólidos e Covid-19: **Desafios e impactos na gestão**

Kardelan Arteiro da Silva
Irene Maria Silva de Almeida
Soraya Giovanetti El-Deir

EDUFRPE e Gampe/UFRPE

Recife, 2022

1ª edição



Prof. Marcelo Brito Carneiro Leão
Reitor da UFRPE

Prof. Gabriel Rivas de Melo
Vice-Reitor

Antão Marcelo Freitas Athayde Cavalcanti
Diretor da Editora da UFRPE

Edson Cordeiro do Nascimento
Diretor do Sistema de Bibliotecas da UFRPE

Marco Aurélio Cabral Pereira
Chefe de Produção Gráfica da Editora UFRPE

José Abmael de Araújo
Coordenador Administrativo da Editora UFRPE



Editora Universitária da UFRPE
Endereço: Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n Bairro de
Dois Irmãos CEP 52171-900 Recife - PE [http://
www.editora.ufrpe.br/](http://www.editora.ufrpe.br/)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

R433 Resíduos sólidos e Covid-19: desafios e impactos na gestão /
Kardelan Arteiro da Silva, Irene Maria Silva de Almeida, Soraya
Giovanetti El-Deir, organizadores. – 1. ed. - Recife: EDUFRPE,
2021.
426 p. : il.

Obra disponível em versão eletrônica.
Inclui bibliografia e anexo(s).

1. Gestão integrada de resíduos sólidos 2. Saúde ambiental
3. Gestão ambiental 4. Doenças transmissíveis - Epidemiologia
5. Tecnologia apropriada 6. Engenharia ambiental I. Silva, Kardelan
Arteiro da, org. II. Almeida, Irene Maria Silva de, org. III. El-Deir,
Soraya Giovanetti, org.

CDD 628

ISBN nº 978-65-86547-52-8

6.2. BIOMINERAÇÃO URBANA NO PÓS-COVID-19: UMA “DISPUTA VERDE” POR METAIS CRÍTICOS

GIESE, Ellen Cristine
CETEM
egiese@cetem.gov.br

RESUMO

A pandemia COVID-19 foi um ponto de inflexão para muitos setores que impulsionam as economias em todo o mundo, principalmente para o setor de mineração. Em meio aos problemas de saúde e econômicos decorrentes da crise atual, vários países estão avançando e traçando estratégias pós-COVID-19 para o suprimento de metais críticos, que no curto prazo serão baseados na biomineração. A biometalurgia pode desempenhar um papel crucial na reciclagem de resíduos eletroeletrônicos e recuperação de metais valiosos. O presente trabalho buscou identificar tecnologias, atualmente desenvolvidas em laboratório, que têm uma perspectiva para a recuperação de metais em larga escala a curto e médio prazos. Também são abordados os desafios de P, D & I para o estabelecimento da biomineração urbana.

PALAVRAS-CHAVE: biohidrometalurgia, reciclagem, resíduos eletroeletrônicos.

1. INTRODUÇÃO

O acesso aos recursos minerais é uma questão de segurança estratégica e autonomia para a maioria dos países. Minerais considerados matérias-primas de maior importância econômica e de alto risco de escassez de abastecimento são denominados minerais críticos. Os minerais críticos são fundamentais para o desenvolvimento de tecnologias verdes, incluindo a produção de energia por meio de turbinas eólicas e veículos elétricos, o que garantirá que o mundo cumpra os objetivos de desenvolvimento sustentável ODS-ONU (LEE; CHA, 2020). A grande maioria dos países desenvolvidos, incluindo os países do G-7, apresentam lacunas em suas reservas minerais naturais, assim como na capacidade de mineração de metais críticos a partir de fontes secundárias.

A pandemia do COVID-19 expôs totalmente as vulnerabilidades das cadeias de valor globais caracterizadas por alta interdependência entre os principais países globais e os países fornecedores localizados em diferentes continentes (ZHU et al., 2021). Com a implementação de medidas rigorosas em todo o mundo que fizeram com que as fronteiras fechassem, a crise do COVID-19 levou muitas partes do mundo a examinar criticamente como organizam suas cadeias de fornecimento, especialmente quando se trata de fontes de fornecimento de metais estratégicos.

Em 2020, em face da pandemia COVID-19, os EUA, a União Europeia, o Reino Unido e a Índia, entre outros países líderes globais, listaram seus minerais essenciais e estabeleceram metas para reduzir sua dependência da importação de matérias-primas críticas (SCHMID, 2020; BAGARIA, 2021). Os Estados Unidos reconheceram que não poderiam mais depender das importações de minerais essenciais de outros países, cada vez mais necessários para manter sua força econômica e militar no século 21; para 31 dos 35 minerais críticos considerados essenciais, os EUA importam mais da metade de seu consumo anual (GIESE, 2020).

No entanto, não é a primeira vez que o fornecimento global de um metal é interrompido. Cobalto (Co), paládio (Pd) e elementos terras-raras, por exemplo, podem ser citados como restrições de fornecimento de metal anteriores para questões geopolíticas (HABIB et al., 2021). No cenário da pandemia do COVID-19, os maiores riscos foram observados para metais preciosos como ouro (Au), ródio (Rh), platina (Pt) e Pd devido à volatilidade dos preços ou enfraquecimento das regulamentações ambientais, bem como os efeitos positivos relacionados ao aumento da demanda para ativos de “porto seguro”.

Esses metais são caracterizados por manufatura com uso intenso de energia e produção geográfica altamente concentrada, sugerindo que a reciclagem e a diversificação da cadeia de suprimentos podem aliviar alguns dos riscos identificados (ALTHAF; BABBITT, 2021). A aplicação dos princípios de restauração, reciclagem e regeneração da produção, básicos na economia circular (DA SILVA et al., 2018; MEDEIROS et al., 2019; CERQUEIRA-STREIT et al., 2021), pode proporcionar a recuperação de matérias-primas críticas de resíduos eletroeletrônicos. A adoção do princípio da economia circular poderá

amenizar alguns dos efeitos prejudiciais da pandemia COVID-19 no futuro (IBN-MOHAMMED et al., 2021). Com base nos princípios da economia circular, o risco de fornecimento de matérias-primas críticas está aumentando a pressão sobre os governos para expandir a capacidade de minerar e extrair esses materiais de minérios de baixo teor e concentrados primários, além de otimizar a recuperação e reciclagem de resíduos elétricos e equipamentos eletrônicos (lixo eletrônico).

As demandas crescentes por minerais críticos e estratégicos têm impulsionado a mineração urbana, ampliando o desenvolvimento de novas rotas tecnológicas baseadas na biometalurgia para extrair, separar, purificar e recuperar metais críticos a partir de resíduos (GIESE; XAVIER; LINS, 2018; XAVIER et al., 2019; GIESE, 2019a; GIESE, 2020; MARQUES; SILVA; SOBRAL, 2021). A busca por tecnologias emergentes poupadoras de energia aliada às políticas econômicas de baixo carbono tornam estes elementos de grande importância econômica e estratégica, bem como demandam e valorizam novas tecnologias para seu processamento. Assim, o objetivo do presente trabalho foi identificar tecnologias baseadas nos processos biohidrometalúrgicos, atualmente desenvolvidas em laboratório, que têm uma perspectiva para a recuperação de metais em larga escala a curto e médio prazos.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho tem o cunho exploratório por ter como finalidade elaborar uma visão geral baseada numa revisão bibliográfica sobre o tema e da legislação aplicável.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O acesso aos recursos minerais é uma questão de segurança estratégica e autonomia para um grande número de países. A crise do COVID-19 levou muitas partes do mundo a analisar criticamente como organizam suas cadeias de suprimentos, especialmente no que diz respeito às fontes de matérias-primas críticas. A vulnerabilidade das cadeias de valor do matérias-primas críticas afeta todos os ecossistemas industriais e exige uma abordagem mais estratégica, como viabilizar novos acordos internacionais e explorar fontes alternativas de abastecimento em caso de rupturas, como neste atual cenário incerto.

A escassez de matérias-primas minerais tem sido impulsionada pelo crescimento populacional e aumento dos padrões de consumo, especialmente em setores industriais de alta tecnologia. Nos próximos anos, devido aos efeitos da pandemia COVID-19, as crescentes demandas por matérias-primas críticas impulsionarão a mineração urbana, ampliando o desenvolvimento de novas rotas tecnológicas baseadas na biometalurgia para extrair, separar, purificar e recuperar metais críticos do lixo eletrônico.

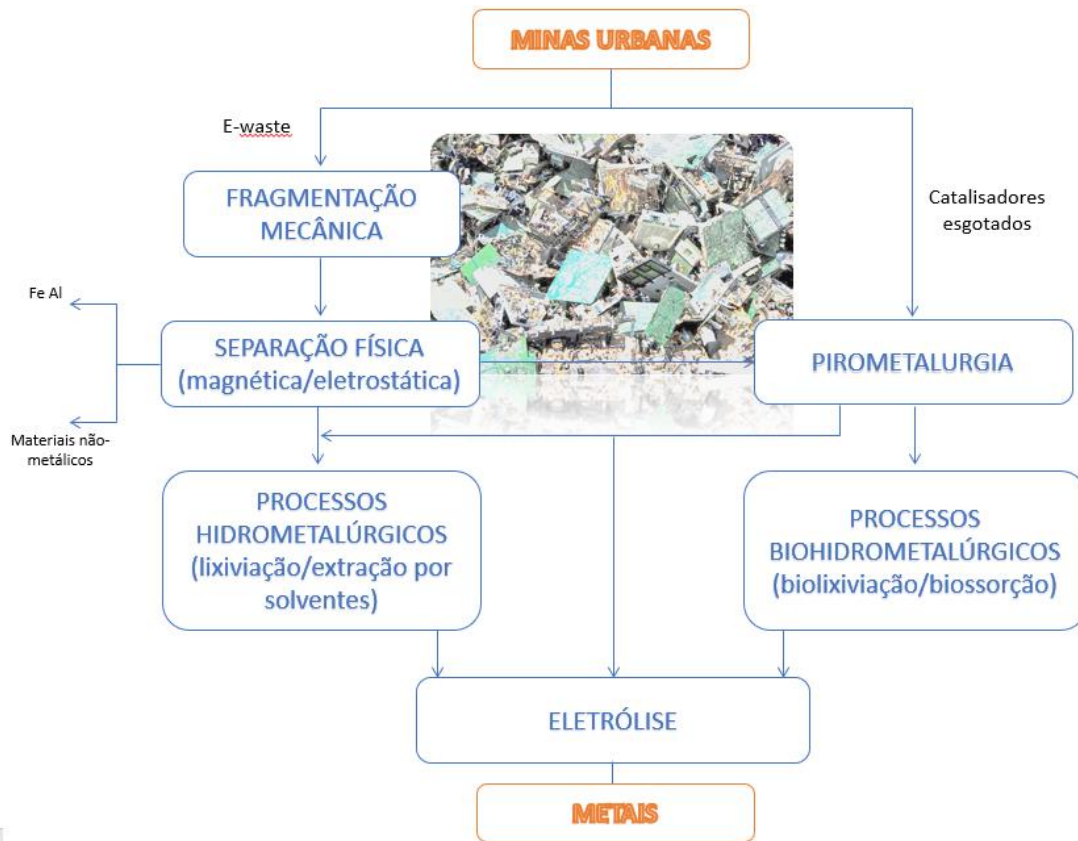
Os resíduos eletroeletrônicos (REEE) referem-se aos dispositivos descartados no final de seu uso e quando não podem mais ser usados pelos consumidores. O lixo eletrônico constitui a fração mais considerável dos resíduos urbanos de crescimento mais rápido (OLIVEIRA; RAMOS, 2015; DA SILVA; CAVALCANTE, 2017). De acordo com estatísticas recentes, 53,6 milhões de toneladas de lixo eletrônico foram produzidas em 2019, e seu valor foi estimado em US\$ 57 bilhões devido aos metais presentes em seus componentes que apresentam valor econômico. Estima-se que 17,4% desse montante foi reciclado, gerando US\$ 10 bilhões (FORTI et al., 2020).

O lixo eletrônico de alto valor contém metais preciosos como prata (Ag), ouro (Au), metais do grupo da platina e elementos de terras raras, que são considerados matérias-primas críticas. A reciclagem de elementos terras-raras é estimada em < 1% em todo o mundo. Um dos principais obstáculos à reciclagem desses elementos é que a quantidade de elementos terras-raras nos produtos em fim de vida varia de mg a vários kg.

A logística reversa é um importante instrumento para acompanhar o eletroeletrônico vendido até o retorno ao ponto de origem, propiciando a reciclagem, através da qual os componentes e matérias-primas das mercadorias descartadas podem ser novamente utilizadas na fabricação de novos produtos (SANTOS et al., 2018; LINS et al., 2019; SOUZA et al., 2021). É de extrema importância para que a maior quantidade de produtos pós-consumo seja reciclada adequadamente a fim de suprir a cadeia de matérias-primas críticas. O lixo eletrônico é atualmente tratado em instalações pirometalúrgicas ou com o uso de algum processo hidrometalúrgico que imita as operações unitárias usadas na metalurgia primária de extração de minério (MOREIRA; SANTOS, 2018).

Com a escassez de recursos primários e a necessidade crescente de extrair valores metálicos de fases minerais complexas ou reservas com fontes de baixo teor ou secundárias, como o lixo eletrônico, os processos baseados na atividade microbiana apresentam-se como tecnologias emergentes para o fornecimento de metais estratégicos e minerais (XAVIER et al., 2019). A biomineração consiste em dois sistemas biológicos combinados: a biolixiviação para a solubilização dos metais valiosos e a bioexatção para a recuperação e separação seletiva dos metais. A Figura 1 ilustra as etapas de processamento de resíduos eletroeletrônicos.

Figura 1. Produtos de alta-tecnologia considerados fontes secundárias de metais na mineração urbana.



Fonte: GIESE (2020)

Na etapa de pré-tratamento ocorrem os processos de desmontagem que geralmente são feitos manualmente. Os componentes metálicos são beneficiados com o uso de processos físicos constituídos por operações unitárias usadas convencionalmente no tratamento de minérios, tais como: cominuição em moinhos, classificação granulométrica, separação magnética e eletrostática, flotação etc., de modo a concentrar os metais de interesse. A recuperação e refino é realizada através de processos metalúrgicos de pirometalurgia e hidrometalurgia (lixiviação e extração por solventes).

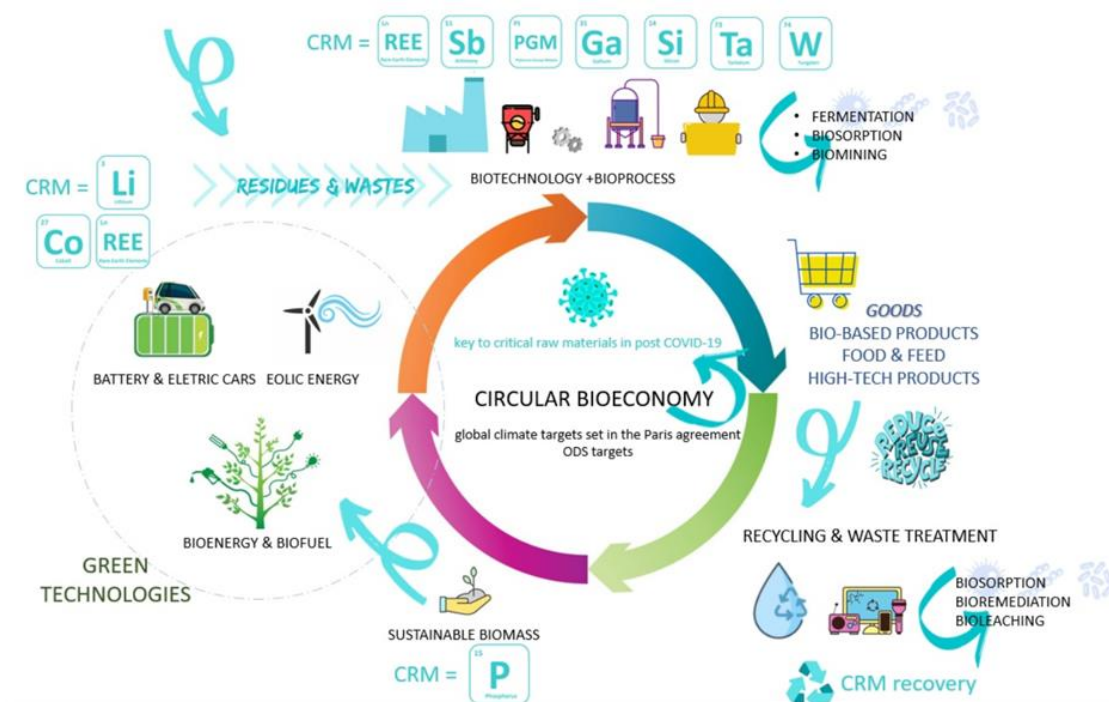
A biomineração urbana surge como uma alternativa ao uso de métodos hidrometalúrgicos os quais, em geral, envolvem um alto consumo de energia e, portanto, alto custo operacional, além da poluição secundária decorrente (GIESE; XAVIER; LINS, 2018; XAVIER et al., 2019; GIESE, 2019b). A biolixiviação é amplamente utilizada na extração e recuperação de metais de minérios e resíduos enquanto a biorremediação se concentra na remoção ou imobilização de contaminantes perigosos, como radionuclídeos e metais pesados de locais contaminados.

Desta forma, alguns processos biohidrometalúrgicos também têm sido avaliados quanto à sua viabilidade em compor a cadeia produtiva de extração de elementos metálicos do lixo eletrônico, principalmente porque os bioprocessos apresentam menores demandas quanto

ao uso de reagentes químicos e consumo de energia. pois, em geral, contribuem para o caráter sustentável do processo (GIESE, 2019a).

A biolixiviação é um processo biotecnológico baseado no uso de diferentes microrganismos (fungos e bactérias) com a capacidade de secretar ácidos inorgânicos ou orgânicos ou cianeto, aumentando as reações de oxidação-redução, mecanismos promovidos por prótons e formação de ligantes e complexos. As principais vantagens dos métodos de biomineração incluem a alta especificidade, custo-benefício e aceitabilidade ambiental. A biotecnologia já é uma rota estabelecida para processar minérios primários de baixo teor e pode desempenhar um papel essencial na mineração urbana de matérias-primas críticas no futuro em um conceito de bioeconomia circular, conforme proposto na Figura 2.

Figura 2. Arranjo sugerido de setores envolvidos na bioeconomia circular com foco em biomineração urbana de matérias-primas críticas (MPC).



Fonte: GIESE (2021)

Nas últimas duas décadas, a biotecnologia desempenhou um papel de liderança ao permitir o desenvolvimento de processos industriais sustentáveis que resultaram em uma ampla gama de produtos e processos inovadores. Uma transição dos métodos convencionais de extração mineral para métodos de base biológica tem sido tentada nas mais diferentes áreas. A biotecnologia está presente na Agenda 2030 para a bioeconomia proposta pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD), com ações para o desenvolvimento de novos processos minerais baseados na atividade microbiana e a implantação de novas plantas de biolixiviação. As atividades industriais devem ser conduzidas no curto prazo dentro de uma agenda de bioeconomia mineral (OECD, 2007).

A bioeconomia é baseada no uso inovador de recursos biológicos sustentáveis para atender à crescente demanda dos setores de alimentos, energia, indústria e preservação do meio ambiente. Seu conceito inclui o desenvolvimento de bioprocessos eficientes para apoiar a produção sustentável e a integração de aplicações de biotecnologia entre diferentes setores.

A busca por tecnologias emergentes de economia de energia combinadas com políticas econômicas circulares de baixo carbono é crucial para o restabelecimento dos setores econômicos e produtivos pós-COVID-19. Os modelos econômicos atuais e suas necessidades em termos de exploração de recursos não garantem o uso contínuo de bens naturais e minerais para atender às demandas tecnológicas atuais e, ao mesmo tempo, proporcionar os benefícios de uma vida sustentável. Por exemplo, as premissas do ODS foram baseadas na globalização e no crescimento econômico sustentado. O COVID-19 trouxe à luz que os ODSs, conforme projetados atualmente, não são resistentes a choques impostos por pandemias; a projeção é que dois terços das 169 metas não sejam cumpridas até 2030 com os impactos associados. A bioeconomia surge como uma solução para garantir a sustentabilidade econômica e ambiental de longo prazo, valorizando os recursos naturais nos mais diversos setores.

5. CONCLUSÕES

Tendo em vista a escassez iminente de metais críticos e a necessidade de administrar diferentes setores produtivos, e mesmo no ambiente pandêmico do COVID-19, muitos países perceberam o problema e desenvolveram planos ambiciosos com o objetivo de aumentar a resiliência e autonomia dos produtores avançados setores, procurando repelir quaisquer ameaças às suas soberanias nacionais. A necessidade de reagir à crise da COVID-19 é uma oportunidade única para transformar nossa economia e propor a mudança de que nossa sociedade precisa para criar um futuro sustentável e desejável. Uma bioeconomia circular oferece soluções revolucionárias e é um conceito crucial para avançar em direção a uma economia neutra em carbono, renovável e inclusiva que prospera em harmonia com a natureza.

A extração de metais a partir de resíduos eletroeletrônicos pode ser considerada uma solução alinhada com a economia circular e que vem ao encontro das principais demandas sociais, ambientais, econômicas e tecnológicas. Porém, apesar de todas as vantagens oferecidas pela biomineração urbana, os processos ainda estão sendo estudados em escala de laboratório devido às baixas taxas de rendimento e longos tempos operacionais, fatores estes que ainda limitam sua aplicação em escala industrial. A implementação da mineração urbana em larga escala depende tanto do desenvolvimento de tecnologia viáveis quanto de uma logística reversa eficaz.

AGRADECIMENTOS

A autora agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Serviço Nacional de Aprendizagem do Cooperativismo (SESCOOP) pelo apoio financeiro no âmbito do Projeto CNPq/SESCOOP nº 403048/2018-4.

REFERÊNCIAS

ALTHAF, S.; BABBITT, C.W. Disruption risks to material supply chains in the electronics sector. **Resources, Conservation and Recycling**, 2021, v. 167, Article 105248.

BAGARIA N. Analysing Opportunities for India in Global Value Chains in Post COVID-19 Era. **Foreign Trade Review**, 2021, Article 10.1177.

CERQUEIRA-STREIT, J.A.; SANTOS, M.P.; GUARNIERI, P.; LAFAYETE, K.P.V. Gestão de resíduos sólidos industriais como contributo à economia circular e indústria 4.0; uma revisão de literatura. In: ALMEIDA, I.M.S.; GUEDES, F.L.; EL-DEIR, S.G.; MENEZES, N.S. (Orgs.). **Resíduos sólidos: gestão e tecnologia**. 1ª ed. Recife: EDUFRPE, 2021. p. 205-218.

DA SILVA, G.R.; CAVALCANTE, M.B. Lixo eletrônico: uma análise da produção e descarte nas escolas públicas urbanas de Guarabira – PB. In: AGUIAR, W.J.; EL-DEIR, S.G.; BEZERRA, R.P.L. (Orgs.). **Resíduos sólidos: abordagens práticas em educação ambiental**. 2ª ed. Recife: Gampe/UFRPE, 2017. p. 123-126.

DA SILVA, A.M.B.; RIBEIRO, A.R.B.; SANTOS, M.V.N.; LIMA, T.L.A. Impactos ambientais, sociais e econômicos da logística reversa: uma revisão bibliográfica. In: SANTOS, J.P.O.; SILVA, R.C.P.; MELLO, D.P.; EL-DEIR, S.G. (Orgs.). **Resíduos sólidos: Impactos Socioeconômicos e Ambientais**. 1ª ed. Recife: EDUFRPE, 2018. p. 186-197.

FORTI, V.; BALDÉ, C.; KUEHR, R.; BEL, G. (Orgs.) **The Global E-Waste Monitor 2020**. Global E-waste Statistics Partnership, 2020.

GIESE, E.C., XAVIER, L.H., LINS, F.A.F. Urban biomining: the future of recycling of electrical and electronic waste. **Brasil Mineral**, 2018, v. 385, Article 36-39.

GIESE, E.C. Challenges of biohydrometallurgy in the circular economy. **Insights in Mining, Insights in Mining, Science and Technology**, 2019a, v. 4, 555569.

GIESE, E.C. Evidences of EPS-iron (III) Ions interactions on bioleaching process mini-review: the key to improve performance. **Orbital: The Electronic Journal of Chemistry**, 2019b, v. 11, Article 200-204.

GIESE, E.C. **Os desafios da biometalurgia frente ao crescimento das minas urbanas**. 1ª ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2020. p. 17.

GIESE, E.C. Biomining in the post-COVID-19 circular bioeconomy: a “green dispute” for critical metals. **International Research Journal of Multidisciplinary Technovation**, 2021, v. 3, Article 35-38.

IBN-MOHAMMED, T.; MUSTAPHA, K.; GODSELL, J.; ADAMU, Z.; BABATUNDE, K.; AKINTADE, D.; ACQUAYE, A.; FUJII, H.; NDIAYE, M.; YAMOAH, F.; KOH, S. A critical analysis of the impacts of COVID-19 on the global economy and ecosystems and opportunities for

circular economy strategies. **Resources, Conservation and Recycling**, 2021, v. 164, Article 105169.

LEE, K.; CHA, J. Towards improved circular economy and resource security in South Korea. **Sustainability**, v. 13, 2020, Article 17.

LINS, E.A.M.; SILVA, A.L.T.; LINS, A.S.B.M.; PAZ, D.H.F. Gestão dos resíduos eletroeletrônicos: análise da aplicabilidade da Logística reversa. In: MENEZES, N.S.; EL-DEIR, S.G.; GUEDES, F.L.; ALMEIDA, I.M.S. (Orgs.). **Resíduos sólidos: educação e meio ambiente**. 1ª ed. Recife: EDUFRPE, 2021. p. 782-793.

MARQUES, E.A.T.; SILVA, A.C.; SOBRAL, M.C. Logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos e mineração urbana. In: ALMEIDA, I.M.S.; GUEDES, F.L.; EL-DEIR, S.G.; MENEZES, N.S. (Orgs.). **Resíduos sólidos: gestão e tecnologia**. 1ª ed. Recife: EDUFRPE, 2021. p. 606-621.

MEDEIROS, A.M.A.; MARINHO, J.I.M.; COUTINHO, C.N.; LEITE, T.R.N. Logística reversa e economia circular dos resíduos eletroeletrônicos. In: NUNES, I.L.S.; PESSOA, L.A.; EL-DEIR, S.G. (Orgs.). **Resíduos sólidos: os desafios da gestão**. 1ª ed. Recife: EDUFRPE, 2019. p. 287-296.

MOREIRA, T.R.M.; SANTOS, I.T.Q.P. Caracterização de telas de LCD visando a reciclagem; extração de índio presente em equipamentos eletroeletrônicos In: SANTOS, J.P.O.; SILVA, R.C.P.; MELLO, D.P.; EL-DEIR, S.G. (Orgs.). **Resíduos sólidos: Impactos Socioeconômicos e Ambientais**. 1ª ed. Recife: EDUFRPE, 2018a. p. 395-406.

OECD. International Futures Project on “The Bioeconomy to 2030 Designing a Policy Agenda”. Disponível em: < <https://www.oecd.org/futures/long-termtechnologicalsocietalchallenges/thebioeconomyto2030designingapolicyagenda.htm>>. Acesso em: 25 mar. 2021.

OLIVEIRA, R.S.; RAMOS, J.B.E. Análise comparativa do gerenciamento logístico reverso de lâmpadas fluorescentes pós-consumo em instituições de ensino federais. In: AGUIAR, A.C.; SILVA, K.A.; EL-DEIR, S.G. (Orgs.). **Resíduos sólidos: tecnologias limpas e boas práticas**. 1ª ed. Recife: Gamp/UFRPE, 2015. p. 127-141.

SANTOS, J.P.O.; SILVA, E.V.L.; SOUZA, A.L.; EL-DEIR, S.G. Economia circular como via para minimizar o impacto ambiental gerado pelos resíduos sólidos. In: SILVA, R.C.P.; SANTOS, J.P.O.; MELLO, D.P.; EL-DEIR, S.G. (Orgs.). **Resíduos sólidos: tecnologias e boas práticas de economia circular**. 1ª ed. Recife: EDUFRPE, 2018. p. 8-17.

SCHMID, M. Challenges to the European automotive industry in securing critical raw materials for electric mobility: the case of rare earths. **Mineralogical Magazine**, 2020, v. 84, Article 5-17.

SOUZA, R.S.; GUARNIERI, P.; VIEIRA, B.; CERQUEIRA-STREIT, J.A. Diagnóstico de práticas e inovações na logística reversa de resíduos eletroeletrônicos em organizações brasileiras. In: ALMEIDA, I.M.S.; GUEDES, F.L.; EL-DEIR, S.G.; MENEZES, N.S. (Orgs.). **Resíduos sólidos: gestão e tecnologia**. 1ª ed. Recife: EDUFRPE, 2021. p. 622-638.

XAVIER, L.H.; GIESE, E.C.; RIBEIRO-DUTHIE, A.C.; LINS, F.A.F. Sustainability and the circular economy: A theoretical approach focused on e-waste urban mining. **Resources Policy**, 2019, Article 101467.

ZHU, Y.; ALI, S.H.; XU, D.; CHENG, J. Mineral supply challenges during the COVID-19 pandemic suggest need for international supply security mechanism. **Resources, Conservation and Recycling**, 2021, v. 165, Article 105231.