

## Paradoxos da logística reversa de resíduos eletroeletrônicos e a mineração urbana no Brasil

### RESUMO

A gestão de resíduos no Brasil é regulamentada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) desde 2010. Ao longo de uma década o país tem avançado na regulamentação e no desenvolvimento de soluções para a implementação de Sistemas de Logística Reversa (SLR) para diferentes categorias de resíduos. Os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) foi a última categoria a ser regulamentada dentre àquelas que possuem obrigatoriedade de implementação de SLR. Em razão da complexidade da cadeia e da diversidade de produtos, os REEE demandam estratégias que abrangem desde a efetiva categorização dos tipos de resíduos até o incentivo à adoção de rotas tecnológicas para a recuperação de matéria-prima secundária. Essa última proposta consiste na mineração urbana, a partir da qual é possível a recuperação de valor a partir da obtenção de materiais secundários para aplicação em processos produtivos como alternativa às matérias-primas tradicionais. No entanto, os custos envolvidos na logística reversa e na mineração urbana têm questionado a efetiva contribuição no âmbito da economia circular. Desta forma, este texto apresenta uma abordagem teórica sobre o paradoxo da logística reversa e mineração urbana na gestão de resíduos eletroeletrônicos no Brasil.

**PALAVRAS-CHAVE:** Logística reversa. Mineração urbana. Economia circular. Resíduos eletroeletrônicos.

Luciana Contador  
[lucianacontador@gmail.com](mailto:lucianacontador@gmail.com)  
PPE-COPPE UFRJ  
Larissa Sampaio Freire  
[larissafreire31@poli.ufrj.br](mailto:larissafreire31@poli.ufrj.br)  
UFRJ  
Lucia Helena Xavier  
[lxavier@cetem.gov.br](mailto:lxavier@cetem.gov.br)  
Centro de Tecnologia Mineral

## INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios ambientais globais é a gestão adequada de resíduos sólidos urbanos (RSU), por meio de uma gestão sustentável que considere não somente os impactos imediatos, mas também o passivo ambiental a ser herdado pelas futuras gerações. De acordo com relatório do Banco Mundial, em 2017 o mundo gerava cerca de 2 bilhões de toneladas de RSU por ano. A projeção deste estudo para 2050 é de que a geração de resíduos supere o crescimento populacional em mais que o dobro (KAZA *et al.*, 2018).

No Brasil, entre 2010 e 2019, a geração de RSU aumentou de 67 milhões para 79 milhões de toneladas por ano, um crescimento superior a 15% em menos de uma década. A média de geração de RSU por cada brasileiro é de 1,04 kg/dia (ABRELPE, 2020), maior que a média mundial per capita de 0,74 kg/dia (KAZA *et al.*, 2018).

Entre os RSU, os resíduos de equipamentos eletrônicos (REEE) merecem especial atenção devido ao rápido crescimento de geração, representando um volume anual de 2,1 milhões de toneladas (Mt) (FORTI *et al.*, 2020). Em 2019, a China e os Estados Unidos geraram, respectivamente, 10.129 e 6.918 quilotoneladas de resíduos eletroeletrônicos (GEM, 2020). A evolução tecnológica, desenvolvimento econômico, padrões de consumo exacerbados, e crescente industrialização e urbanização, levaram a uma alta velocidade de consumo e de descarte de equipamentos eletroeletrônicos (EEE) (KUMAR *et al.*, 2019). A redução da vida útil dessa categoria de equipamentos, aliada a baixos níveis de reaproveitamento, intensifica a utilização de recursos naturais finitos e as emissões de gases de efeito estufa (GEE), bem como a geração de resíduos (XAVIER & LINS, 2018; DA SILVEIRA *et al.*, 2019).

Os REEE, além da complexidade e diversidade da sua composição, ainda possuem componentes considerados potencialmente perigosos, por apresentarem riscos à saúde humana e ao meio ambiente. Dentre as substâncias com potencial de periculosidade estão: cromo, cádmio, mercúrio, chumbo e substâncias retardantes de chamas presentes nos polímeros plásticos. Tais substâncias são regulamentadas na Europa pela Diretiva RoHS, onde são estabelecidos os limites na composição dos produtos (RoHS). Por outro lado, encontram-se também presentes em sua composição materiais valiosos, que podem garantir ganhos ambientais e econômicos a partir da reciclagem adequada desses resíduos. (DIAS *et al.*, 2018), tais como: ouro, platina, paládio e os elementos de terras raras (XAVIER, 2019). Nesse sentido, as soluções de circularidade devem ser priorizadas no sentido de se incentivar a recuperação de insumos secundários.

O atual modelo econômico, industrial linear de extração-produção-consumo-descarte leva ao esgotamento dos recursos naturais, acúmulo de resíduos e crescente emissão de gases de efeito estufa. A transição para uma economia circular (EC) visa redefinir o crescimento econômico, com foco em benefícios amplos para a sociedade, com uso de energia renovável, reduzindo ao máximo o consumo de recursos finitos e a geração de lixo e permitindo a regeneração dos sistemas naturais (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2019).

No Brasil, estima-se que em 2019 foram gerados 53,6 milhões de toneladas de REEE. Deste total, 82,6% foram gerenciados pelo setor informal ou não obtiveram uma destinação ambientalmente correta, assim como ocorre em muitos países subdesenvolvidos, carentes de infraestrutura de gerenciamento adequada desses resíduos (FORTI *et al.*, 2020). A gestão inadequada de REEE pode gerar impactos, como é o caso de aparelhos 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).

Da mesma forma, as rotas extras para atender a coleta e processamento dos resíduos pode também resultar em mais emissões e comprometer a qualidade ambiental. Um efeito indesejado, mas presente nos deslocamentos de modais de transporte na implementação de soluções de logística reversa. Este desequilíbrio entre a busca por mecanismos sustentáveis para a destinação dos resíduos sólidos por meio da recuperação de materiais secundários e reinserção na cadeia produtiva tem gerado muitos debates e têm sido considerados como os paradoxos da logística ambiental ou reversa (RODRIGUE *et al.*, 2001).

Objetivando a mitigação dos impactos ambientais atribuídos aos REEE e a recuperação e comercialização de materiais nobres presentes nestes resíduos, cientistas e empreendedores de todo o mundo têm investido na pesquisa de processos de *upcycling*. O *upcycling* consiste na valorização de resíduos, produtos e materiais pós-consumo a partir da logística reversa, recuperação e beneficiamento. O REEE pode ser desmontado e seus componentes podem retornar ao ciclo do produto, como priorizado na economia circular ou passar por processos destrutivos e encaminhado para a reciclagem e para a mineração urbana ou mineração secundária. Cabendo, no entanto, atenção quanto aos padrões de sustentabilidade em cada etapa do processo de mineração urbana e logística reversa.

## OBJETIVO

A proposta da economia circular tem como premissa a ampliação da vida útil dos produtos como forma de minimizar a necessidade da exploração de matéria-prima e, da mesma forma, reduzir a geração de resíduos. A recuperação de recursos, na forma de materiais e energia, a partir de produtos pós-consumo também é uma importante estratégia da economia circular. Desta forma, o presente estudo propõe uma abordagem teórica sobre o paradoxo da logística reversa e da mineração urbana como potenciais fontes de emissões, na contramão da proposta de sustentabilidade. Assim, são analisadas as efetivas contribuições da logística reversa e da mineração urbana de REEE pode contribuir para a redução de emissões de GEE, indicando seus prós e contras por meio de revisão bibliográfica.

## METODOLOGIA

Este estudo, como uma abordagem teórica, 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

da abordagem; (iii) definição das palavras-chave buscadas; (iv) levantamento bibliográfico, e (v) análise.

No primeiro passo, foi definido como tema geral a “logística reversa”. No segundo passo, como delimitação do tema geral foi estabelecida como “os paradoxos da logística reversa”. 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, no último passo, os sites de busca pelos artigos foram Science Direct, Wiley Online Library, Google Scholar e Periódicos Capes.

## LOGÍSTICA REVERSA E MINERAÇÃO URBANA

A Logística Reversa (LR) e a Mineração Urbana (MU) são abordagens que estão inseridas na Economia Circular (EC) (XAVIER *et al.*, 2019). A Logística Reversa consiste em um processo que busca planejar, implementar e controlar a eficiência e economia nos fluxos dos produtos desde o ponto de consumo à produção visando seu reaproveitamento ou buscando destiná-lo de forma ambientalmente correta, e dessa forma gerando valor a esses produtos que normalmente seriam descartados, e reduzindo custos para empresas (OYOLA-CERVANTES & AMAYAMI, 2019). A mineração urbana envolve a coleta e descaracterização de resíduos eletrônicos para reaproveitamento desses como matéria prima secundária, contribuindo assim para a valorização econômica, minimização dos resíduos e da exploração de recursos naturais escassos (XAVIER & LINS, 2018). Nessa perspectiva, é possível perceber que a logística reversa é o meio pelo qual a mineração urbana acontece, no sentido de que a logística reversa é o processo e a mineração urbana é o método. Ambas são de grande importância para a circularidade dos materiais no pós-consumo com vistas à sustentabilidade, já que promovem a valorização e destinação adequada deles.

### Aspectos da logística reversa no Brasil

O marco regulatório na gestão de resíduos sólidos no Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos ou PNRS (Lei nº 12.305/2010; Decreto nº 7.404/2010) estabelece Sistemas de Logística Reversa (SLR) como um dos instrumentos da PNRS, uma estratégia para viabilizar o retorno de resíduos especiais ao setor produtivo para reciclagem, recuperação de matéria prima secundária ou destinação final ambientalmente adequada.

Um dos principais avanços da PNRS é seu princípio de Responsabilidade Compartilhada pelo Ciclo de Vida dos Produtos. Desta forma fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos são corresponsáveis pelo descarte adequado dos RSU.

Através do Decreto nº 7.404 de 2010, fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes foram designados como os agentes responsáveis pela estruturação e implementação dos SLR. O decreto também definiu que os SLR devem ser estabelecidos através de (i) Acordos Setoriais (AS), assinados entre o Poder Público e os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes (também chamada de “cadeia direta”); (ii) Regulamentações expedidas pelo Poder

Executivo, veiculado por decreto; (iii) Termos de Compromisso (TC) entre o Poder Público e os agentes da cadeia direta (BRASIL, 2010b).

Quase 10 anos após a promulgação da PNRS, em 2019, foi celebrado o Acordo Setorial de Eletroeletrônicos (Decreto 10.240/2020), que estabelece os termos da implementação da logística reversa de eletroeletrônicos no Brasil. O SLR de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico foi finalmente regulamentado pelo Decreto Federal nº 10.240/20, e define para fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes metas de instalação de Postos de Entrega Voluntária (PEVs); número de cidades abrangidas e percentual de aparelhos eletroeletrônicos a serem coletados e destinados corretamente. O acordo setorial não inclui produtos eletroeletrônicos oriundos de serviço de saúde, pilhas, baterias, lâmpadas, componentes não fixados no equipamento, quantidades oriundas de grandes geradores e equipamentos não domésticos (originários de pessoa jurídica).

Duas normas técnicas também contribuem para a gestão de REEE, a norma da manufatura reversa de refrigeradores (ABNT NBR 15.833:2018) e a norma que estabelece os requisitos para a manufatura reversa de equipamentos eletroeletrônicos em geral (ABNT NBR 16.156:2013). O conjunto de leis e normas que regulamentam a cadeia reversa de eletroeletrônicos no Brasil são de caráter pioneiro na América Latina e nos principais países em desenvolvimento (XAVIER & LINS, 2018).

A PNRS também traz em sua concepção a inclusão de catadores na gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos no Brasil. De acordo com um dos princípios da PNRS, o resíduo sólido reutilizável e reciclável é um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania. Um dos objetivos da PNRS é a integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos.

Os catadores participam ativamente da coleta, transporte, triagem e processamento de materiais recicláveis a partir dos resíduos, incluindo os REEE. No entanto, cabe ressaltar que os REEE são potencialmente contaminantes, sendo classificados como resíduos perigosos (ILANKOON *et al.*, 2018), e, portanto, catadores podem somente pré-processar os REEE e necessitam de licenças ambientais, mecanismos legais específicos e cuidados especiais para evitar acidentes e contaminação.

### Mineração urbana ou secundária a partir de REEE

A mineração urbana ou secundária 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 (XAVIER & LINS, 2018). Baseada em princípios da economia circular, a mineração urbana é considerada a segunda melhor estratégia depois do uso de tecnologias mais limpas com vistas à redução das emissões de GEE (ENERGY TRANSITIONS COMMISSION, 2018), além de contribuir para a valorização econômica, minimização dos resíduos e da exploração de recursos naturais escassos (XAVIER & LINS, 2018).

A mineração urbana a partir da reciclagem dos REEE pode mitigar as emissões. 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). A reciclagem de 10 kg de alumínio, além de economizar mais de 90% de energia, evita a liberação de 20 kg de CO<sub>2</sub> (g) e 0,11 kg de SO<sub>2</sub> (g), e evita a geração de 13 kg de resíduo de bauxita (TESFAYE *et al.*, 2017). Ao mesmo tempo, a reciclagem de ferro e aço economiza 74% de energia, 90% do uso de matéria-prima, 40% do uso de água, e reduz 76% e 86% da poluição da água e do ar e 97% da geração de resíduos de mineração (CUI & FORSSBERG, 2003).

Ademais a mineração secundária de alumínio, cobre, ferro e aço, chumbo e zinco pode economizar 95%, 85%, 74%, 65% e 60%, respectivamente, do consumo total de energia no processo deles na forma de materiais virgens (CUI & FORSSBERG, 2003). Por meio desses dados é possível concluir que a mineração secundária gera menos emissões de gases, menos resíduos, além de consumir menos energia, apresentando significativamente menos danos ao meio ambiente em comparação a mineração tradicional, além de reduzir a necessidade de extração de mais matérias-primas.

No entanto, as estratégias de *upcycling*, incluindo a mineração urbana, dependem fortemente de sistemas de logística reversa competentes em recuperar produtos e resíduos da etapa de pós uso ao retorno aos ciclos de produção.

### Paradoxos da logística reversa e da mineração urbana

Os SLR buscam o reaproveitamento dos resíduos, recuperando materiais do pós-uso, que poderiam ser dispostos em um aterro sanitário e trazendo-os de volta para o ciclo produtivo. A implementação de SLR visa reduzir desperdícios e minimizar os impactos ambientais causados pelo descarte inadequado dos resíduos. Se os SLR são definidos como um dos instrumentos para a gestão sustentável de RSU, essa logística também deveria ser sustentável, uma logística “verde”. E, no entanto, esses sistemas de logística verde apresentam alguns paradoxos com relação a seus impactos ambientais.

A tabela 1 apresenta cinco paradoxos da logística verde: custos, tempo, confiança, estoque e tecnologias de informação (RODRIGUE *et al.*, 2013; SANTOS *et al.*, 2015). Os paradoxos da logística verde representam os desafios para que os SLR se tornem cada vez mais sustentáveis (QUIUMENTO, 2011).

Tabela 1 – Paradoxos da logística verde.

Dimensão	Paradoxo
Custos	Redução da carga transportada acarreta mais viagens e maior custo do transporte.
Tempo	Redução do tempo de fluxo e maior eficácia dependem de meios de transporte mais velozes e mais poluentes.
Confiança	Meios de transporte menos poluentes são menos confiáveis para a entrega no prazo e sem danos.
Estoque	A redução de estoques transfere os produtos para o sistema de transporte, contribuindo para congestionamento e poluição.
Tecnologias da Informação	Exemplo prático: e-commerce ou comércio eletrônico, depende fortemente de uma cadeia de suprimentos integrada com rastreamento do transporte, em geral por transportes poluentes, como avião ou caminhão.

Dimensão	Paradoxo
Custos	Redução da carga transportada acarreta mais viagens e maior custo do transporte.

Tabela elaborada a partir de RODRIGUE *et al.*, 2001

Somando-se a esses paradoxos gerais, o Brasil apresenta ainda algumas particularidades e desafios para o estabelecimento eficaz de sua logística reversa:

- Desconhecimento de grande parte da população brasileira sobre como destinar os REEE.
- Informalidade na cadeia de reciclagem dos REEE.
- Inexistência de um banco de dados oficial nacional específicos para geração de REEE e seus fluxos.
- Dificuldades relacionadas à rastreabilidade dos REEE gerados.
- As dimensões continentais do país e o transporte majoritariamente rodoviário através de caminhões com queima de combustível fóssil (diesel).
- Concentração de recicladoras nas regiões sul e sudeste do país.
- Carência de unidades de processamento da fração mais valiosa dos REEE os metais preciosos.
- Ausência de uma política de tributação específica e unificada para o setor, gerando insegurança jurídica para os empreendedores.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma década após a promulgação da PNRS e dos esforços para o estabelecimento de um sistema de logística reversa adequado para o REEE, o Brasil ainda tem muitos desafios a superar.

Grande parte dos brasileiros ainda descarta seus resíduos eletroeletrônicos misturados aos demais resíduos sólidos urbanos, no “lixo comum”, o que resulta na destinação inadequada desse REEE para aterros sanitários (MMA, 2014; Souza *et al.*, 2016). Isso ocorre devido a um desconhecimento geral da população sobre como destinar adequadamente o REEE ou pela ausência local de acesso ao destino correto desses resíduos. Pelas mesmas razões, quando não são indevidamente descartados, os REEE são “armazenados” pelos consumidores, levando a um alto nível de retenção dos equipamentos eletroeletrônicos danificados ou fora de uso nas residências dos usuários, fato observado por Xavier e colaboradores (2019). Outra parte desses resíduos é coletada informalmente por catadores e encaminhada a cooperativas ou a empresas de sucatas.

A informalidade na cadeia de reciclagem dos REEE é um risco à saúde humana e ao meio ambiente. REEEs contém inúmeras substâncias tóxicas e perigosas, como por exemplo, chumbo, cádmio, mercúrio, retardantes de chama bromados. Anualmente, 50t de mercúrio e 71kt de retardantes de chama bromados são lançados ao meio ambiente por descarte inadequado e cadeias informais de REEE (FORTI *et al.*, 2020). A gestão inadequada de REEE também pode liberar gases



destruidores da camada de ozônio ou de efeito estufa como clorofluorcarbonos (CFCs) e hidroxiclourofluorcarbonos (HFCs). Um total de 98 Mt de CO<sub>2</sub>-equivalentes foram liberados para a atmosfera a partir de refrigeradores e equipamentos de ar-condicionado descartados e processados de modo inadequado, essa emissão corresponde a 0,3% das emissões globais relativas à geração de energia (FORTI et al, 2020).

Além das questões sociais, a participação de catadores na logística reversa contribui para a coleta e segregação de resíduos, no entanto, quando os resíduos eletroeletrônicos passam por métodos destrutivos para separação de materiais, as substâncias tóxicas são liberadas para o meio, colocando em risco à saúde do catador, da comunidade local e do meio ambiente. No Brasil a formalização dos catadores em cooperativas e associações é incentivada, sendo um dos requisitos para a participação em programas de apoio de ONGs nacionais e internacionais, bem como para as oportunidades oferecidas pelas políticas governamentais. Ainda assim, a formalização de catadores em associações e cooperativas esbarra em dificuldades como a gestão do negócio, competição com as empresas de reciclagem, alta rotatividade de associados, dessa forma a informalidade na cadeia de reciclagem se mantém, apesar dos esforços.

A informalidade do setor, aliada à inexistência de um banco de dados oficial nacional específico para geração de REEE e seus fluxos, impossibilitam a rastreabilidade dos REEE gerados no país, comprometendo a circularidade e sustentabilidade no segmento. O acordo setorial pode contribuir com esses gargalos.

Outro desafio para o SLR no Brasil decorre das extensas dimensões territoriais do Brasil, que implicam em custos consideráveis para a logística, tanto direta quanto reversa. Em todo o mundo, o transporte é uma etapa da logística reversa reconhecida por gerar muitos impactos ambientais, com ênfase na emissão de gases de efeito estufa (GEE). No Brasil as emissões de GEE decorrentes do transporte da LR são majoradas tanto pelas longas distâncias a serem percorridas, quanto pela queima de combustíveis fósseis, pois o transporte é predominantemente rodoviário (CARVALHO, 2011). Para minimizar os impactos das emissões atmosféricas deve-se priorizar o uso de combustíveis alternativos e avaliar criteriosamente as melhores rotas e os melhores pontos de consolidação de carga (situados entre os locais de geração e as unidades de processamento dos REEE), garantindo volumes mínimos e redução no número de viagens entre os tais pontos.

Somada à extensão territorial, observa-se uma concentração de recicladoras nas regiões sul e sudeste do Brasil, enquanto a geração de REEE encontra-se distribuída pelo território. Além disso, o país carece de unidades de processamento da fração mais valiosa dos REEE os metais preciosos, sendo esses resíduos (como placas de circuito impresso) exportados para plantas especializadas em outros países, especialmente na Europa. (MARQUES *et al.*, 2013; SOUZA, 2020). A exportação desses resíduos resulta na perda de oportunidade financeira para o país e no aumento das emissões de GEE, decorrentes do transporte intercontinental dos REEE. Primeiramente, é preciso conhecer qualitativamente e quantitativamente a geração dos REEE e seus fluxos, tal informação permitirá a identificação de hot spots para instalação de novas unidades processadoras de REEE, ampliando a mineração urbana, reduzindo a pegada de carbono e aumentando os níveis de circularidade e sustentabilidade no país.



Configura-se, ainda, como um desafio à implementação de padrões circulares e sustentáveis no segmento a problemática da indefinição dos incentivos econômicos e, especialmente, a tributação dos REEE. No atual cenário, as organizações atuantes na cadeia reversa desses resíduos pagam tributos equivalente às indústrias de transformação, o que pode ser entendido como uma desvantagem em termos de aumentos dos custos de processos desses agentes, e consequente desestímulo à mineração urbana. Dessa forma, ressalta-se a necessidade de que incentivos às rotas secundárias (via recondicionamento, remanufatura e reciclagem) a partir de uma regulamentação fiscal específica (atualmente inexistente) para impulsionar as medidas de aproveitamento de valor a partir dos resíduos e assegurar aumento de competitividade dos materiais reciclados e/ou recicláveis frente às matérias-primas virgens (CANELOI, 2011).

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de ser o caminho para um futuro mais sustentável, a mineração urbana também possui alguns desafios. Dentre eles, cabe ressaltar: a destinação correta do resíduo eletroeletrônico desde o seu descarte por parte do consumidor; a escala de produção dos eletroeletrônicos, impactando diretamente na geração dos REEE; composição e formas diversas dos produtos eletroeletrônicos, tornando complexa a logística reversa e tratamento dos diferentes fluxos de materiais; e regulamentação específica, especialmente no que tange à necessidade de mecanismos punitivos mais severos ao mercado informal e incentivos econômicos à cadeia formal de reciclagem.

O reconhecimento dos gargalos para a implementação da LR de REEE no Brasil é apenas um primeiro passo para a identificação das oportunidades e demandas tecnológicas na cadeia de valor dos equipamentos eletroeletrônicos, dentro desta perspectiva do desenvolvimento sustentável e da economia circular.

# Paradoxes of electronic waste reverse logistics and urban mining in Brazil

## ABSTRACT

In 2010, Brazil implemented its National Solid Waste Policy. Over a decade the country has worked on solutions for implementing Reverse Logistics Systems (SLR) for different categories of waste. Waste from electrical and electronic equipment (WEEE) was the last category to be regulated among those that have mandatory SLR implementation. Due to the complexity of the chain and the diversity of products, WEEE requires strategies that range from the effective categorization of types of waste to the incentive to adopt technological routes for the recovery of secondary raw materials. This last proposal consists of urban mining, from which it is possible to recover value by obtaining secondary materials for application in production processes as an alternative to traditional raw materials. However, the costs involved in reverse logistics and urban mining have questioned the effective contribution to the circular economy. Thus, this work presents a theoretical approach to the paradox of reverse logistics and urban mining in electronic waste management in Brazil.

**KEYWORDS:** Reverse logistics. Urban mining. Circular economy. Electronic waste.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE, 2019. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019. São Paulo, 68 p.

CANELOI, T.P., 2011. Reciclagem e políticas públicas: a questão da tributação dos materiais recicláveis e reciclados. Dissertação em Direito Político e Econômico, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 139 p.

CARVALHO, C.H.R., 2011. Emissões relativas de poluentes do transporte urbano. Em: Boletim regional, urbano e ambiental – IPEA, 123-139.

CUI, J.; FORSSBERG, E. Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review. *Journal of Hazardous Materials*, v.99, p.243–263, 2003.

DA SILVEIRA, T. A. *et al.* E-waste Management and the Conservation of Geochemical Scarce Resources. In: KHAN, A. *et al.* (Eds.). *E-waste Recycling and Management*. 1 ed. Porto Alegre, RS, Brasil: Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2019, p.179–200.

Dias, P., Bernardes, A.M., Huda, N., 2018. Waste electrical and electronic equipment (WEEE) management: An analysis on the Australian e-waste recycling scheme. *Journal of Cleaner Production*. Vol, 197. Pp. 750-764. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.161>.

DIRETIVA ROHS, 2011. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32011L0065>. Acesso em 08/01/2021.

Energy transitions commission. Mission Possible: Reaching Net-zero carbon emissions from harder-to-abate sectors by mid-century. 2018. 172 p. Disponível em: <https://www.energy-transitions.org/publications/mission-possible/#download-form>. Acesso em: 29 jul. 2021.

FORTI V., BALDÉ C.P., KUEHR R., BEL G. The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential. United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam.

GEM-Brasil 2001. Global Entrepreneurship Monitor. Report 2019. Published by the Global Entrepreneurship Research Association, London Business School

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.

Kaza, Silpa; Yao, Lisa C.; Bhada-Tata, Perinaz; Van Woerden, Frank. 2018. *What a Waste 2.0 : A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Urban Development. Washington, DC: World Bank. © World Bank. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317> License: CC BY 3.0 IGO. Acesso em 08/01/2021.

KUMAR, A., KUPPUSAMY, V. K., HOLUSZKO, M., SONG, S., LOSCHIAVO, A., 2019. LED lamps waste in Canada: generation and characterization. *Resources, Conservation and Recycling* 146, 329-336.

MACARTHUR, Ellen *et al.* Towards the circular economy. *Journal of Industrial Ecology*, v. 2, p. 23-44, 2013.

MARQUES, A.C., CABRERA, J., MALFATTI, C.F., 2013. Printed circuit boards: A review on the perspective of sustainability. *Journal of Environmental Management* 131, 298-306. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.10.003>. Acesso em 08/01/2021.

Oyola-Cervantes, J., & Amaya-Mier, R. (2019). Reverse logistics network design for large off-the-road scrap tires from mining sites with a single shredding resource scheduling application. *Waste Management*, 100, 219–229. doi:10.1016/j.wasman.2019.09.023

PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL 2020 | ABRELPE referenciar!

QUIUMENTO, F. *Logística Verde: Uma nova visão para a Logística com atividade humana integrada ao ambiente*. 2011. Disponível em: <http://knowledgeispowerquiumento.wordpress.com/article/logistica-verde-2tlel7k7dcy4s-90/>. Acesso em: 06/09/2021.

RODRIGUE, J.P; SLACK, B.; COMTOIS, C. *Green Logistics (The Paradoxes of)*. *The Geography of Transport Systems*, 2001. 3rd Edition. 416 p

SANTOS, J. S; BORTOLON, M. K; CHIROLI, G. M. D; OIKO, T. O.; *Logística verde: conceituação e direcionamentos para a aplicação*. *Revista Eletrônica em Gestão Educação e Tecnologia Ambiental*. Santa Maria, v.19, n.2, p.314-331, maio/ago, 2015.

SOUZA, R.G., 2020. E-waste situation and current practices in Brazil. In: Handbook of Electronic Waste Management. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817030-4.00009-7>.

Xavier, L. H., Giese, E. C., Ribeiro-Duthie, A. C., & Lins, F. A. F. (2019). Sustainability and the circular economy: A theoretical approach focused on e-waste urban mining. *Resources Policy*, 101467. doi:10.1016/j.resourpol.2019.101467

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

XAVIER, L.H., OTTONI, M. S.O., ARAUJO, R.A., CUGULA, J.S., CONTADOR, L., PETRUNGARO, G.N., ABREU, L. P. P., SANTOS, L.A., REBELLO, R.Z., L.P.P, GOMES, C.F., SIERPE, R., MANÇANO, M.R., CARDOSO, E.R., ROMAY, K.V.M., SUEMITSU, W., CALDAS, M.B. Manual de destinação de resíduos eletroeletrônicos. Orientações à sociedade sobre como dispor adequadamente os resíduos eletroeletrônicos no estado do Rio de Janeiro. 3ª Edição. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI 2020.

**Recebido:** 30/07/2022

**Aprovado:** 04/08/2022

**DOI:** 10.3895/rts.v18n53.15790

**Como citar:** CONTADOR, L.S. et al. Paradoxos da logística reversa de resíduos eletroeletrônicos e a mineração urbana no Brasil. *Rev. Technol. Soc.*, Curitiba, v. 18, n. 53, p. 141-153, seção temática, 2022. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/15790>. Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

**Direito autoral:** Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

