

GESTÃO DE LÂMPADAS LED PÓS CONSUMO – COMO A FALTA DE UMA LEGISLAÇÃO ESPECÍFICA PODE CAUSAR DANOS AO MEIO AMBIENTE

NATÁLIA RASQUINHA LEAL SCHNORR
UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS

ALINE DEITOS

EMANUELE CAROLINE ARAUJO ESCHTILER

FELICIANE ANDRADE BREHM

CARLOS ALBERTO MENDES MORAES

Introdução

As lâmpadas LED são definidas como equipamentos eletroeletrônicos (EEE) de iluminação, pois para o seu funcionamento necessita de um driver e placa de circuito impresso. À medida que a transição para a iluminação LED continua a crescer, é crucial entender como lidar com os resíduos sólidos gerados. Visando a gestão ambientalmente adequada destes EEE e a responsabilidade entre os envolvidos, há a Política Nacional de Resíduos Sólidos, na qual é definida a obrigatoriedade da logística reversa para os EEE. Portanto é necessário realizar a logística reversa das lâmpadas LED no seu pós consumo.

Problema de Pesquisa e Objetivo

Como consequência da falta de legislação específica e incentivo do poder público, as lâmpadas LED vêm sendo descartadas de forma inadequada pela população. Como estes EEE não estão em nenhum acordo setorial e não possuem uma entidade gestora, que se responsabilize, em informar corretamente os consumidores, bem como criar pontos de entrega voluntários para estes. Além disso, a informação passada é de que as lâmpadas LED não são aceitas como resíduos de equipamentos eletroeletrônico (REEE), causando dúvida na população quanto ao descarte correto.

Fundamentação Teórica

De acordo com o GVR (2023), o mercado global de iluminação LED deverá crescer a uma taxa composta de crescimento anual de 11,0% entre os anos de 2023 à 2030. Com o consumo exacerbado destes produtos e o conseqüente crescimento da geração de REEE, vêm sendo criadas políticas públicas a fim de mitigar os impactos causados por estes resíduos no seu pós consumo. Este artigo discorre sobre os desafios relacionados ao seu descarte, as oportunidades de reciclagem e os benefícios ambientais e econômicos que a gestão pós consumo adequada pode proporcionar.

Metodologia

Este estudo partiu de uma avaliação da falta de legislação específica para logística reversa de lâmpadas LED pós consumo no Brasil. Com isso, foi abordada a legislação brasileira quanto aos REEE, assim como o cenário internacional. Para complementar foi realizada uma revisão bibliográfica sobre a caracterização e classificação das lâmpadas LED e respectivas problemáticas quanto aos impactos ambientais causados pela falta de gestão destes REEE. Visando contribuir para a avaliação da influência que a falta de legislação específica implica na gestão dos resíduos sólidos de lâmpadas LED.

Análise dos Resultados

A reciclagem das lâmpadas LED é importante do ponto de vista ambiental, social, tecnológico e econômico para recuperação de metais uma vez que apresentam grande valor econômico. Além disso, as lâmpadas possuem materiais considerados perigosos e tóxicos aos seres humanos e meio ambiente. Através das pesquisas realizadas, é possível perceber o quanto a falta de legislação correta implica na má gestão destes resíduos. Este artigo apresenta um apanhado geral de como está ocorrendo a gestão dos resíduos de lâmpadas LED no Brasil e em alguns países desenvolvidos.

Conclusão

Enquanto a transição para a iluminação LED continua a crescer, é imperativo enfrentar os desafios associados à disposição e reciclagem responsável por essas lâmpadas. A inovação tecnológica, a regulamentação ambiental e a conscientização pública desempenham papéis fundamentais na resolução desses desafios. A gestão pós-consumo adequada não apenas reduzirá os impactos ambientais negativos, mas também aproveitará os benefícios econômicos da recuperação e reciclagem de materiais valiosos, também denominados de críticos e de limitada disponibilidade.

Referências Bibliográficas

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm Acesso em: 28 agosto 2023. 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, 2020.

Palavras Chave

Lâmpadas LED, Logística reversa, Políticas públicas

GESTÃO DE LÂMPADAS LED PÓS CONSUMO – COMO A FALTA DE UMA LEGISLAÇÃO ESPECÍFICA PODE CAUSAR DANOS AO MEIO AMBIENTE

1 INTRODUÇÃO

O equipamento eletroeletrônico (EEE) é todo dispositivo, que para seu funcionamento necessita de corrente elétrica ou campos eletromagnéticos, englobando todos os equipamentos empregados para a geração, transferência e medição de correntes e campos elétricos. Após o EEE e seus componentes, subconjuntos e materiais consumíveis serem descartados em seu fim de vida denomina-se de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE). (UNIÃO EUROPEIA, 2012; IŞILDAR *et al.*, 2019; FORTI *et al.*, 2020).

As lâmpadas LED são definidas como produtos eletroeletrônicos de iluminação, devido a sua composição, visto que possuem uma sequência de LEDs iguais, necessitam de um driver (fonte de energia) e placa de circuito impresso (PCI) para seu funcionamento (UNIÃO EUROPEIA, 2012; FORTI, *et al.* 2020; SANTOS *et al.*, 2020; ABILUX, 2023).

De acordo com o GVR (2023), o mercado global de iluminação LED deverá crescer a uma taxa composta de crescimento anual de 11,0% entre os anos de 2023 à 2030, este crescimento de mercado se deve por algumas características e vantagens oferecidas pelas lâmpadas e luminárias LED, tais como menor consumo de energia, e vida útil de 50.000 horas. Além disto, os fabricantes têm se empenhado em incluir mais recursos tecnológicos, como Wi-Fi, sensores de ocupação e iluminação natural, o que por sua vez tem atraído mais clientes a consumirem este tipo de iluminação (GVR, 2023).

À medida que a transição para a iluminação LED continua a crescer, é crucial entender como lidar com os resíduos gerados, para minimizar os impactos ambientais e promover a sustentabilidade. A adoção de lâmpadas LED trouxe inúmeras vantagens em termos de eficiência energética e redução de custos operacionais. No entanto, à medida que essas lâmpadas alcançam o final da sua vida útil, surge a questão da gestão pós-consumo, ou seja, como lidar com o seu descarte de forma responsável e sustentável. Esta tem sido uma grande preocupação entre os pesquisadores e gestores ambientais, devido ao grande volume que será gerado por estes resíduos, bem como identificar métodos para o reaproveitamento e reciclagem das lâmpadas LEDs pós consumo. (WEHBIE; SEMETE, 2022).

Com esta rápida evolução dos EEE, consumo exacerbado destes produtos e o consequente crescimento da geração de REEE, vêm sendo criadas políticas públicas a fim de mitigar os impactos causados por estes resíduos no seu pós-consumo. Relacionado a isto, visando a gestão ambientalmente adequada destes equipamentos e a responsabilidade entre os envolvidos de realizar a correta destinação deles, há a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), na qual é definida a obrigatoriedade da logística reversa para os seguintes resíduos: agrotóxico, seus resíduos e embalagens; pilhas e baterias; pneus; óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens; lâmpadas fluorescentes; e produtos eletroeletrônicos. Sendo assim, as lâmpadas LED se enquadram na categoria de produtos eletroeletrônicos e se faz necessário a logística reversa deste produto no seu pós-consumo (REBELLO *et al.*, 2020; BRASIL, 2010, Art. 33), apesar de ainda não estarem relacionadas em leis, normas, e no decreto de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho é avaliar e discutir os aspectos técnicos e regulatórios relacionados à gestão de lâmpadas LED pós consumo.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo partiu de uma avaliação da falta de legislação específica para logística reversa de lâmpadas LED pós consumo no Brasil. Com isso, foi abordado a legislação brasileira quanto aos REEE, assim como o cenário internacional. Para complementar foi realizada uma revisão sobre a caracterização e classificação das lâmpadas LED e respectivas problemáticas quanto aos impactos ambientais causados pela falta de gestão destes resíduos.

Esta análise contribui para impulsionar a pesquisa referente a influência que a falta de legislação específica implica na gestão dos resíduos de lâmpadas LED.

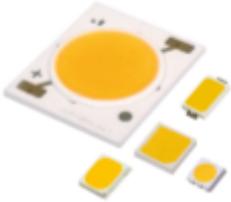
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados observados na análise da literatura.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS LÂMPADAS DE LED

As lâmpadas e luminárias de LED necessitam de um sistema de acionamento ou fonte de alimentação (driver) para ajustar os valores de tensão e fornecer corrente constante, pois o LED necessita de baixas tensões para ser alimentado, não podendo ser ligado diretamente na luz. Além disso, o formato é bem semelhante ao das lâmpadas tradicionais, contendo os mais variados tipos de conexão (ABILUX, 2023; DIAS, 2012). O Quadro 1 apresenta a denominação e definição das partes que compõem a lâmpada de LED.

Quadro 1 - Partes que compõem a lâmpada de LED.

Denominação	Definição	Ilustração
Chip	Cristal semicondutor, porém, sem encapsulamento e terminais condutores.	
Componente LED/ LED encapsulado	É o conjunto de um ou mais LEDs encapsulados, com terminais elétricos. Este componente já pode ser montado em uma placa de circuito impresso (PCI) ou em conectores.	
Módulo de LED	LEDs montados em superfície. Pode ter conector, diodo e resistor montados na PCI. Pode incluir dissipador de calor e/ou lentes	

Denominação	Definição	Ilustração
Lâmpada de LED	É o aparelho de iluminação, elétrico/eletrônico que gera luz através do LED. Esta lâmpada substitui as incandescentes, fluorescentes, halógenas e de descarga e possui formato similar às tradicionais.	
Luminária LED	Produto de iluminação pronto para uso, em alguns casos pode ser acrescentado fonte de alimentação.	
Fonte de Alimentação/ Driver	É responsável por controlar e ajustar as tensões de saída e a corrente.	

Fonte: Adaptado de Abilux (2023).

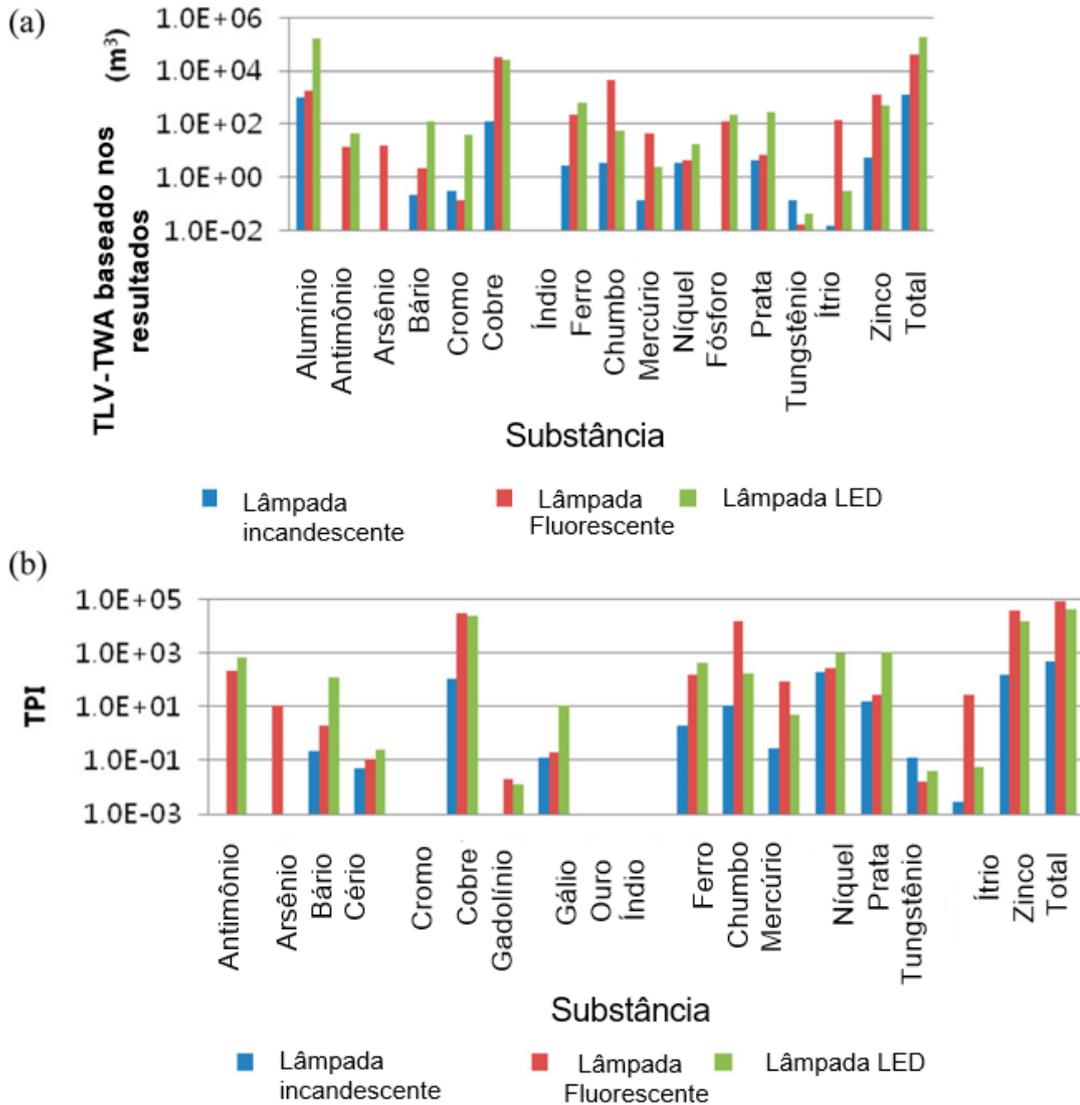
A reciclagem das lâmpadas LED é importante do ponto de vista ambiental, social, tecnológico e econômico para recuperação de metais uma vez que apresentam grande valor econômico, como o ouro, prata, cobre e platina, por exemplo, além de metais em maior volume e que precisam retornar para a cadeia produtiva como ferro e alumínio. Com isso, podem ser considerados como material secundário, e em alguns casos apresentam maiores teores de metais preciosos do que o próprio minério de origem. (PRADIAN, 2013; NICOLAI, 2016; BALDÉ *et al.*, 2017; POURHOSSEIN; MOUSAVI, 2018; XAVIER *et al.*, 2020; SANTOS, 2021).

Porém, além das lâmpadas LEDs apresentarem materiais de alto valor agregado em seu interior, fortalecendo a importância de sua reciclagem, elas também apresentam materiais perigosos, como chumbo, cobre, arsênio e retardadores de chamas bromados (BFRs) que podem ser tóxicos, bioacumulativos, cancerígenos e podem causar graves impactos ambientais (GOIS, 2008; FRAUNHOFER IZM, 2012; LIM *et al.*, 2013; GOSAVI *et al.*, 2013; TUENGE *et al.*, 2013; PIERONI; LEONEL; FILLMANN, 2017; POURHOSSEIN; MOUSAVI, 2018; BOSSCHE *et al.*, 2019; ANNONI *et al.*, 2019).

Lim *et al.* (2013) realizaram uma caracterização de toxicidade de lâmpadas incandescentes, fluorescentes e de LED. Para isso, as lâmpadas foram moídas em moinho de facas até granulometria inferior a 2 mm, com exceção do dissipador de calor das LED que foi moído em serra abrasiva e obteve-se tamanho de partícula inferior a 9,5 mm. Além das LFCs (Lâmpadas Fluorescentes Compactas), as lâmpadas LED também foram classificadas como

resíduo perigoso (tomando como base regulamentações dos Estados Unidos e da Califórnia) por apresentarem quantidade excessivas de chumbo (44 mg/L) e cobre (31600 mg/L). (LIM *et al.*, 2013). A Figura 1 apresenta as composições de metais das lâmpadas conforme as metodologias da Agência de Proteção Ambiental dos EUA e União Europeia, onde no gráfico (A) está representado o Valor Limite (TLV) e Média Ponderada no Tempo (TWA), enquanto no gráfico (B) temos o Potencial Tóxico (TPI) baseado em perigo.

Figura 1 - Composições de metais das lâmpadas.



Fonte: adaptado de Lim *et al.* (2013).

Na caracterização realizada por Lim *et al.* (2013) não foi detectado arsênio, no entanto sabe-se pela literatura que os LEDs, muitas vezes, utilizam arsênio em sua composição, sendo que o arsênio é usado geralmente ligado ao gálio sendo GaAs (arseneto de gálio), para produção dos chips de LED (GOIS, 2008; FRAUNHOFER IZM, 2012; TUENGE *et al.*, 2013; BOSSCHE *et al.*, 2019; ANNONI *et al.*, 2019). De acordo com Annoni *et al.* (2019), tal elemento é tóxico, cancerígeno e pode causar graves impactos ambientais.

Além disso, segundo Pourhossein e Mousavi (2018), a composição dos LEDs contém diversos tipos de retardadores de chama bromados (BFRs). Tais compostos são considerados tóxicos, bioacumulativos e podem cessar funções endócrinas importantes como sinalização hormonal, transporte e metabolismo. O tetrabromobisfenol-A (TBBPA), por exemplo, é um tipo de BFR muito utilizado em LEDs, que em altas doses se ligam em receptores de hormônios estrogênicos, causando efeitos nos parâmetros deles. (GOSAVI *et al.*, 2013; PIERONI; LEONEL; FILLMANN, 2017; POURHOSSEIN; MOUSAVI, 2018).

Muitos autores têm relatado a presença de chumbo nessas lâmpadas, sendo geralmente utilizado para soldas. (CENCI *et al.*, 2020; MARTINS; TANABE; BERTUOL, 2020; ILLÈS; KÉKESI, 2023; SANTOS *et al.*, 2023). Embora em alguns países, incluindo principalmente União Européia e Estados Unidos, tenham legislação específica para a restrição deste metal em equipamentos eletroeletrônicos (sendo a Diretiva 2011/65/EU denominada de Restriction of the use of certain hazardous substances - RoHS) no Brasil ainda não existe nenhuma norma semelhante.

Vale ressaltar que existe a possibilidade de as lâmpadas LED serem descartadas junto com lâmpadas fluorescentes, neste caso um ponto a ser considerado é a contaminação com mercúrio. Visto que, devido possuírem layout muito similares, muitas vezes não está claro para o consumidor a diferença entre ambas as lâmpadas, acarretando assim no descarte inadequado destes resíduos que acabam se misturando como tem sido observado também pelos autores (GASSMANN *et al.*, 2016; RAHMAN *et al.*, 2017).

3.2 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA REFERENTE AOS RESÍDUOS SÓLIDOS E LOGÍSTICA REVERSA DE LÂMPADAS LED

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305 de 2010, tem como objetivo a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos, e traz instrumentos como os sistemas de logística reversa e outras ferramentas relacionadas à implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. (BRASIL, 2010).

No que diz respeito ao sistema de logística reversa, é mencionado a obrigatoriedade dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de estruturar e implementar sistemas de logística reversa de: agrotóxico, seus resíduos e embalagens; pilhas e baterias; pneus; óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens; lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista e os produtos eletroeletrônicos e seus componentes. Cabe ressaltar que a implementação da logística reversa dos produtos acima citados vem acontecendo de modo progressivo, conforme art. 56 da Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010).

Para atendimento ao art. 33 da Lei nº 12.305/2010 foram elaborados acordos setoriais tanto para as lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista quanto para os produtos eletroeletrônicos e seus componentes. Em novembro de 2014 foi firmado o Acordo Setorial de Lâmpadas Fluorescentes de Vapor de Sódio e Mercúrio e de Luz Mista entre as partes envolvidas, com o intuito de regulamentar a implantação de Sistema de Logística Reversa de abrangência nacional destas lâmpadas. Neste acordo ficou definido que não fazem parte do objeto as lâmpadas LEDs, incandescentes e halógenas.

Já em outubro de 2019 foi assinado o Acordo setorial para implantação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes pelas partes envolvidas, quanto a estruturação, implementação e operacionalização de sistema de logística reversa desses produtos. Após assinado o Acordo setorial, foi publicado o Decreto nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020, quanto à implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico. (BRASIL, 2020).

O Decreto 10.240/2020 está baseado no acordo setorial trazendo a definição de produtos eletroeletrônicos, como “*equipamentos de uso doméstico cujo funcionamento depende de correntes elétricas com tensão nominal de, no máximo, duzentos e quarenta volts*” (BRASIL, 2020). Também é apresentado a lista dos produtos eletroeletrônicos que fazem parte da logística reversa, de acordo com o Anexo I constante no referido decreto. Importante destacar que o art. 5 faz menção de que não faz parte do objeto do decreto as “*pilhas, baterias ou lâmpadas não integrantes ou removíveis da estrutura física dos produtos eletroeletrônicos constantes do Anexo I, que constituem objeto de sistemas de logística reversa próprio*” (BRASIL, 2020).

Avaliando as legislações brasileiras percebe-se que a Lei 12.305/2010 não especifica a necessidade da logística reversa para as lâmpadas de LED. Enquanto o Decreto 10.240/2020 não faz menção clara sobre as lâmpadas de LED, uma vez definindo os produtos eletroeletrônicos cujo funcionamento depende de correntes elétricas com tensão nominal de até 240 volts e estabelecendo que não faz parte do objeto do decreto lâmpadas não integrantes ou removíveis da estrutura física dos produtos eletroeletrônicos.

A partir disso, verificou-se alguns trabalhos que tratam sobre a logística reversa da lâmpada de LED e sua classificação, bem como a legislação brasileira quanto ao assunto em questão.

Rebello *et al.* (2020) comentam que a PNRS dispõe sobre a obrigatoriedade da logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos incluindo lâmpadas de qualquer tipo, envolvendo LED. De Souza (2020) diz que as lâmpadas LED pós consumo poderão seguir a logística reversa, desde que a destinação seja realizada a empresas especializadas no tratamento desses resíduos. Em seguida complementa que estes se enquadram na categoria dos eletroeletrônicos, visto que para o seu funcionamento necessitam de uma placa de circuito impresso, portanto devem seguir a logística reversa obrigatória prevista pela PNRS.

Oliveira (2022) discorre em sua tese sobre a classificação das lâmpadas LED, já que, conforme a Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (ABILUX) estas são definidas como aparelhos eletroeletrônicos, porém, apesar disto, estes resíduos não possuem logística reversa obrigatória. A autora comenta que as lâmpadas de LED não estão no Acordo Setorial de Lâmpadas Fluorescentes de Vapor de Sódio e Mercúrio e de Luz Mista e não são comentadas no Decreto nº 10.240/2020, e ainda estão excluídas no artigo 5º do mesmo.

Segundo Anonni (2020), os resíduos de lâmpadas LED não estão incluídos nos eletroeletrônicos, e conforme Acordo setorial firmado em novembro de 2014, prevê a responsabilidade compartilhada apenas dos resíduos de lâmpadas fluorescentes de Vapor de Sódio e Mercúrio e de Luz Mista. Sendo assim, o gerenciamento dos resíduos de lâmpadas LED deve ser realizado individualmente para seguir a logística reversa. Além disso, é comentado que as características das lâmpadas de LED são semelhantes aos REEEs por possuírem metais e placa de circuito impresso (PCI), existindo a possibilidade de enquadramento junto aos REEEs, conforme já realizado na Europa.

3.3 CLASSIFICAÇÃO INTERNACIONAL DOS EQUIPAMENTOS ELETROELETRONICOS

A Diretiva da União Europeia 2012/19/EU divide os equipamentos eletroeletrônicos em 10 categorias, onde considera desde equipamentos domésticos até equipamentos médicos e de medição e controle. As lâmpadas LED são citadas no anexo IV deste documento (UNIÃO EUROPEIA, 2012, p. 59). O Quadro 2 apresenta as 10 categorias criadas pela diretiva, bem como exemplos de equipamentos.

Quadro 2 - Classificação de equipamentos eletroeletrônicos – Diretiva Europeia 2012/19/EU.

Categoria	Exemplos
Grandes eletrodomésticos	Geladeiras, máquinas de lavar, fogão, etc.
Pequenos eletrodomésticos	Torradeira, aspirador, fritadeira, secador de cabelo, etc.
Equipamentos informáticos e de telecomunicações	Computador, notebook, impressora, telefone celular, etc
Equipamentos de consumo	Rádio, televisão, instrumentos musicais, etc.
Equipamentos de iluminação	Lâmpadas fluorescentes, lâmpadas LED, etc.
Ferramentas elétricas e eletrônicas	Serras, máquinas de costura, solda, ferramentas, etc.
Brinquedos e equipamento de desporto e lazer	Jogos de vídeo, videogames, etc.
Aparelhos médicos	Equipamentos de radioterapia, cardiologia e diálise, ventiladores pulmonares, etc.
Instrumentos de monitoramento e controle	Termostato, reguladores de aquecimento, etc.
Distribuidores automáticos	Distribuidores de bebidas quentes, garrafas, latas, etc.

Fonte: Adaptado de União Europeia (2012).

O Global E-waste Monitor de 2020 (GEM 2020) classificam em 6 categorias de REEE, sendo uma exclusiva para lâmpadas, incluindo as LED, conforme Figura 2 a seguir.

Figura 2 - Classificação dos REEE.



Fonte: Adaptado Forti *et al.* (2020).

3.4 SITUAÇÃO ATUAL

Como consequência da falta de legislação específica e incentivo do poder público, as lâmpadas e demais produtos LED vêm sendo descartados de forma inadequada pela população.

Como estes equipamentos não são incluídos em nenhum acordo setorial, também não possuem uma entidade gestora que se responsabilize em informar corretamente os consumidores, bem como criar pontos de entrega voluntários (PEV) para elas. Além disso, como a informação é de que elas não são aceitas como REEE, a população fica em dúvida de como descartá-las, ocorrendo muitos equívocos.

Quando não descartadas na coleta domiciliar comum, ou misturadas com lâmpadas fluorescentes, elas acabam, na melhor das hipóteses, sendo descartadas na coleta seletiva municipal. (SANTOS, 2021; SANTOS *et al.*, 2022; ROSA *et al.*, 2023; SANTOS *et al.*, 2023). No entanto, caso as unidades de triagem (UT) não possuam algum tipo de conhecimento sobre o produto, bem como possibilidade de desmontagem e comercialização dos materiais, as lâmpadas e produtos LED se tornarão um passivo ambiental nas UTs, correndo o risco de serem descartados como rejeito.

Em artigo anterior, o grupo de pesquisa NucMat realizou coletas em duas cooperativas de coleta seletiva na cidade de Porto Alegre e observou que em uma das cooperativas 30,3% das lâmpadas triadas são LED, 37,8% fluorescentes, e 5,7% de incandescentes (ROSA *et al.*, 2023). Um grande percentual das lâmpadas fluorescentes já chega quebradas, podendo representar um problema em termo de saúde dos trabalhadores da cooperativa, e em torno de 25,5% das lâmpadas LED triadas ainda funcionam 100%, e 25,9% passíveis de serem consertadas.

4 CONCLUSÃO

Visando a redução do consumo de energia, além de incentivos públicos tanto fiscais como monetários, a tendência da utilização de lâmpadas LED em escala global é crescer. Sendo assim, a gestão de lâmpadas LED pós-consumo é uma questão crucial para a sustentabilidade ambiental. Enquanto a transição para a iluminação LED continua a crescer, é imperativo enfrentar os desafios associados à disposição e reciclagem responsável por essas lâmpadas.

A inovação tecnológica, a regulamentação ambiental e a conscientização pública desempenham papéis fundamentais na resolução desses desafios e na promoção de um ciclo de vida mais duradouro e sustentável para as lâmpadas LED. A gestão pós-consumo adequada não apenas reduzirá os impactos ambientais negativos, mas também aproveitará os benefícios econômicos da recuperação e reciclagem de materiais valiosos, também denominados de críticos e de limitada disponibilidade. Como a transição para a iluminação LED continua a avançar, a gestão pós-consumo deve ser uma parte integrante da estratégia global para a sustentabilidade. Com isto, é fundamental a instituição de logística reversa adequada para as lâmpadas LED pós consumo, bem como a utilização deste resíduo como fonte secundária oriunda da mineração urbana.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ILUMINAÇÃO (ABILUX). **Guia LED descomplicado**. 3ª. REV. 2023. Disponível em: <https://www.abilux.com.br/docs/ABILUX_GuiaLED-Descomplicado_REV_052023.pdf>. Acesso em: 21 setembro de 2023.

ANONNI, Raquel. **Resíduos de lâmpadas de LED: desmonte, caracterização e desempenho da integração de lixiviação, precipitação e ultrafiltração na recuperação de metais**. 2020. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

ANNONI, R.; LANGE, L. C.; AMARAL, M. C. S.; SILVA, A. M.; ASSUNÇÃO, M. C.; FRANCO, M. B.; SOUZA, W. Light emitting diode waste: Potential of metals concentration and acid reuse via the integration of leaching and membrane processes. **Journal of Cleaner Production**. v. 246, 2019. (DOI: [10.1016/j.jclepro.2019.119057](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119057)).

BALDÉ, C.P.; FORTI, V.; GRAY, V.; KUEHR, R.; STEGMANN, P. **The Global E-waste Monitor – 2017**, United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna. 2017.

Disponível em: <

<https://www.itu.int/en/ITUUD/ClimateChange/Documents/GEM%202017/Global-Ewaste%20Monitor%202017%20.pdf>>. Acesso em: 6 jun 2021.

BOSSCHE, A. V. et al. Recovery of Gallium, Indium, and Arsenic from Semiconductors Using Tribromide Ionic Liquids. **ACS Sustainable Chem. Eng.**, 2019. (DOI: 10.1021/acssuschemeng.9b01724)

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm Acesso em: 28 agosto 2023.

BRASIL. **Decreto nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020**. Disponível em:

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/d10240.htm Acesso em: 28 agosto 2023.

CENCI, M. P. et al. Assessment of LED lamps components and materials for a recycling perspective. **Waste Management**. v. 107, p. 285-293, 2020.

DE SOUZA, L. **Análise comparativa de ganho ambiental entre as lâmpadas fluorescentes e as lâmpadas de LED**. 2020. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental e Sanitária) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2020.

DIAS, M. P. **Avaliação do Emprego de Um Pré-Regulador Boost de Baixa Frequência do Acionamento de Leds de Iluminação**. 2012. 94f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Juiz de Fora. Juíz de Fora, MG, 2012.

Directive 2012/19/UE of the European Parliament and of the Council. Of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE). Official Journal L 197, p. 59, 2012.

Disponível em: [http://eur-lex.europa.eu/legal-](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2012:197:FULL&from=PT)

[content/PT/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2012:197:FULL&from=PT](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2012:197:FULL&from=PT). Acesso em: 23 jul. 2019.

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, 2020. Disponível em:

<http://ewastemonitor.info/>. Acesso em: 23 jul. 2023.

Fraunhofer IZM. **Project: Cycling resources embedded in systems containing Light Emitting Diodes**. Fraunhofer Institute. Germany, 2012. Disponível em:< <http://www.cyc-led.eu/?LMCL=NcYj0n>>. Acesso em: 15 set. 2019.

GRAND VIEW RESEARCH (GVR). **LED Lighting Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Lamps, Luminaires), By Application (Indoor, Outdoor), By End-use (Commercial, Residential, Industrial), By Region, And Segment Forecasts, 2023 – 2030**. 2023. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/led-lighting-market/request/rs1> . Acesso em: 19 set. 2023.

GASSMANN, A. et al. **Led lamps recycling technology for a circular economy**. Latest LPR Magazine. n. 25 de ago, 2016. Disponível em: < <https://www.led-professional.com/resources1/articles/led-lamps-recycling-technology-for-a-circular-economy>>. Acesso em: 15 julho 2019.

GOIS, A. **LEDs na Iluminação Arquitetural**. Ed. 1. Lighting Now, 2008.

GOSAVI, R. A. et al. **Mimicking of Estradiol Binding by Flame Retardants and Their Metabolites: A Crystallographic Analysis**. *Environmental Health Perspectives*. v. 121, n. 10, p. 1194-1199, 2013.

ILLÉS, I. B., KÉKESI, T. A comprehensive aqueous processing of waste LED light bulbs to recover valuable metals and compounds. *Sustainable Materials and Technologies*. v. 35, 2023.

IŞILDAR, A. et al. Biotechnological strategies for the recovery of valuable and critical raw materials from waste electrical and electronic equipment (WEEE) – A review. *Journal of Hazardous Materials*. v. 362, p. 467-481, 2019.

LIM, S. et al. **Potential Environmental Impacts from the Metals in Incandescent, Compact Fluorescent Lamp (CFL), and Light-Emitting Diode (LED) Bulbs**. *Environ. Sci. Technol.* v. 47, p. 1040-1047, 2013.

MARTINS, Thiago R.; TANABE, Eduardo H.; BERTUOL, Daniel A. Innovative method for the recycling of end-of-life LED bulbs by mechanical processing. *Resources, Conservation & Recycling*. v. 161, 2020.

NICOLAI, F. N. P. Mineração urbana: avaliação da economicidade da recuperação de componentes ricos em Au a partir de resíduo eletrônico (e-waste). 2016. 242f. Tese (doutorado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, MG, 2016.

OLIVEIRA, R. P. **Recuperação de ítrio a partir de resíduos de lâmpadas de LED tubulares por rota hidrometalúrgica**. 2022. 146f. Tese (doutorado em Engenharia Química) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

PIERONI, M. C.; LEONEL, J.; FILLMANN, G. **Retardantes de Chama Bromados: Uma Revisão**. *Quim. Nova*, v. 40, n. 3, p. 317-326, 2017.

POURHOSSEIN, F.; MOUSAVI, S. M. **Enhancement of copper, nickel, and gallium recovery from LED waste by adaptation of *Acidithiobacillus ferrooxidans***. *Waste Management*. v. 79, p. 98-108, 2018.

PRADIIAN, J. K. **Environmental Impact Assessment and Bioleaching of Metals from Electronic Waste (E-Waste)**. 2013. Tese (Doutorado em Filosofia e Biotecnologia). Jaypee University of Information Technology, Wanknaghat, Índia, 2013.

RAHMAN, S. M. M.; KIM, J.; LERONDEL, G.; BOUZIDI, Y.; NOMENYO, K.; CLERGET, L. Missing research focus in end-of-life management of lightemitting diode (LED) lamps. **Resources, Conservation & Recycling**. v. 127, p.256- 258, 2017

REBELLO, R. Z. et al. **RECICLAGEM DE LÂMPADAS DE LED INSERVÍVEIS: PANORAMA ATUAL E PERSPECTIVAS FUTURAS**. In: 11º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, Porto Alegre. 2020. Disponível em: https://www.cetem.gov.br/antigo/images/reminare/FIRS_REBELLO_2020-reciclagem-lampadas-leds-inserviveis.pdf. Acesso em: 05 março 2023.

ROSA, J. S.; SANTOS; E. C. A.; FERNANDES, W.; BREHM, F. A.; MORAES, C. A. M. **AVALIAÇÃO DO ESTADO FUNCIONAL DE LÂMPADAS RECEBIDAS PARA RECICLAGEM EM COOPERATIVAS DA CIDADE DE PORTO ALEGRE**. In: VI Seminário Internacional dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos – SIREE, 2023.

SANTOS, Emanuele Caroline Araujo dos *et al.* **AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO DESIGN NA DESMONTAGEM DE LÂMPADAS LED DO TIPO BULBO PARA POSTERIOR RECICLAGEM**. In: **11º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos**, 2020. Disponível em: <https://institutoventuri.org/ojs/index.php/FIRS/article/view/161/137>. Acesso em: 19 set. 2023.

SANTOS, E. C. A. **Avaliação Técnica, Econômica e Ambiental Para Recuperação de Materiais a Partir de Lâmpadas LED Pós-Consumo**. 2021. 177f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS.

SANTOS, E. C. A; et al. **BENEFICIAMENTO DE LÂMPADAS LED INSERVÍVEIS EM UMA COOPERATIVA DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS**. **Mix Sustentável**. v. 8, n. 4, p. 63-67, 2022.

SANTOS; E. C. A., et al. **ESTUDO DA SEPARAÇÃO DE LEDS DE MÓDULOS ORIUNDOS DE UMA UNIDADE DE TRIAGEM DE PORTO ALEGRE**. In: VI Seminário Internacional dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos – SIREE, 2023.

TUENGE, J. R. et al. **Life-Cycle Assessment of Energy and Environmental Impacts of LED Lighting Products, Part 3: LED Environmental Testing**. United States, 2013.

XAVIER, Lúcia Helena *et al.* **RECICLAGEM DE LÂMPADAS DE LED INSERVÍVEIS: PANORAMA ATUAL E PERSPECTIVAS FUTURAS**. **11º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos**, p. 11, 2020. Disponível em: <https://institutoventuri.org/ojs/index.php/FIRS/article/view/159/135>. Acesso em: 14 set. 2023.

WEHBIE, Moheddine; SEMETHEY, Vincent. Characterization of end-of-life LED lamps: Evaluation of reuse, repair and recycling potential. **Waste Management**, v. 141, p. 202-207, 2022. (DOI: 10.1016/j.wasman.2022.01.037).