

RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA SOBRE A APLICAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR NA MINERAÇÃO DE LÍTIO

¹Marineide Jardim Rodrigues, ²Marcio Coutinho de Souza, ³Mauro Lúcio Franco, ⁴Raquel de Souza Pompermayer, ⁵Wederson Marcos Alves and ⁶Walber Gonçalves de Souza

¹Mestranda em Tecnologia, Ambiente e Sociedade pela Uni. Fed. dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM); ²Doutor em Engenharia de Produção pela Uni. Metodista de Piracicaba (UNIMEP); ³Doutor em Química (Físico-química) pela Uni. Fed. de Minas Gerais (UFMG); ⁴Doutora em Ciências Florestais Uni. de Brasília (UnB); ⁵Doutor em Engenharia Agrícola pela Uni. Fed. de Viçosa (UFV); ⁶Doutor em Geografia pela Pontifícia Uni. Católica de Minas Gerais (PUC-MG)

ARTICLE INFO

Article History:

Received 11th August, 2022

Received in revised form

08th September, 2022

Accepted 24th September, 2022

Published online 30th October, 2022

Key Words:

Economia Circular, Sustentabilidade, Mineração, Lítio, Bibliometria.

*Corresponding author:

Marineide Jardim Rodrigues

ABSTRACT

O presente estudo teve como objetivo mapear a produção científica sobre Economia Circular e o lítio, a partir das publicações disponíveis, com acesso livre e de todo o acesso aberto na base de dados *Scopus* no período de 2010 a 2022. Esta pesquisa é de alta relevância ambiental e econômica por buscar o equilíbrio entre desenvolvimento econômico e preservação dos recursos naturais. O artigo foi estruturado da seguinte forma: o contexto da Economia Circular, a Economia Circular na mineração, Lítio, análise dos dados, considerações finais e referências. Foi observado, por meio do resultado da pesquisa, um aumento significativo das publicações nos anos atuais e conseqüentemente um número maior de citações sobre o tema por meio de artigos científicos, sendo a Ciência Ambiental a principal área de estudo sobre o tema.

Copyright © 2022, Marineide Jardim Rodrigues et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citation: Marineide Jardim Rodrigues, Marcio Coutinho de Souza, Mauro Lúcio Franco, Raquel de Souza Pompermayer, Wederson Marcos Alves and Walber Gonçalves de Souza. 2022. "Análise bibliométrica sobre a aplicação da economia circular na mineração de lítio", *International Journal of Development Research*, 12, (10), 59507-59514.

INTRODUCTION

As intensas mudanças climáticas juntamente com a escassez de recursos naturais vêm promovendo a cultura da sustentabilidade ambiental nos países emergentes. O crescimento da população mundial e os elevados padrões de vida estão entre as principais justificativas para a exploração excessiva dos recursos naturais, contribuindo com a poluição do ar e com o aquecimento global (HOORNWEG, et al., 2012). Entretanto, a ascensão da tecnologia e o desenvolvimento econômico são possíveis de acontecer de maneira ambientalmente sustentável quando os recursos primários são limitados, isso vem sendo provado com a aplicação do conceito da Economia Circular. Diante deste cenário, é necessário buscar alternativas de progresso econômico e técnico sem provocar danos aos recursos naturais garantindo-os para as próximas gerações. A utilização de recursos renováveis ou de materiais reciclados aplicados ao setor industrial são exemplos de práticas sustentáveis.

Estudos recentes observaram a escassez de materiais estratégicos que serão incluídos em projetos futuros de fabricação e engenharia (GAUSTAD et al., 2011). O lítio é considerado um desses materiais estratégicos. Dispõe do potencial de se tornar escasso e é um recurso essencial para a indústria de baterias, *smarthphones*, *tablets* e diversos equipamentos eletrônicos (SONOC; JESWIET, 2014), além de veículos elétricos, híbridos com baterias recarregáveis a base de íons de lítio. Em contrapartida, a infraestrutura e metodologia fundamental para reciclagem e recuperação desses produtos ainda não são totalmente esclarecedoras (WANG, et al., 2014). A China é um dos maiores consumidores e produtores globais de baterias e também dos seus resíduos (MELIN, 2022). É esperado que 66% das baterias de íons de lítio no mercado global sejam recicladas na China, onde ocorre um acelerado crescimento de indústrias de materiais para baterias. Existem diversas tecnologias de processo para reciclagem de baterias, porém, são necessárias mais pesquisas para projetar os processos de desmontagem eficientes e sustentáveis (MELIN, 2017). Nesse contexto, os modelos de Economia Circular apoiam a redução de resíduos para descarte e retiram os custos da cadeia de valor.

Diante disso, tendo em vista a relevância de temáticas que envolvam Economia Circular e o Lítio, e com o intuito de revisar algumas publicações com essas abordagens, surge o seguinte problema de pesquisa: como está caracterizada a produção científica sobre Economia Circular aplicada ao contexto de baterias de lítio na base de dados Scopus?

Assim, para responder ao problema de pesquisa, este artigo tem como objetivo geral: mapear a produção científica sobre Economia Circular e o lítio, a partir das publicações disponíveis, com acesso livre e de todo o acesso aberto na base de dados *Scopus* no período de 2010 a 2022.

REFERENCIAL TEÓRICO

O contexto da Economia Circular (*Circular Economy*): Segundo a Fundação Ellen MacArthur (2013), não é possível rastrear qual foi a data e o autor que criou o modelo de Economia Circular, pois ela possui raízes profundas. Acredita-se que a economia circular tenha surgido nos Estados Unidos da América por volta de 1960, entre outras particularidades essa prática ocorreu num contexto de promover a proteção do meio ambiente. A Economia Circular surgiu a partir do conceito da ecologia industrial, baseado na ideia de fechamento de ciclo que é enfatizado sobre a política ambiental sueca e alemã. Destarte, a ideia principal é o fechamento do ciclo produtivo para que os recursos sejam reutilizados, reciclados e reaproveitados, até o último nível de sua utilização –por exemplo, para queima e geração de energia. A ideia do ciclo fechado serve para evitar a entrada de novos recursos naturais e isso contribui com a diminuição das emissões de poluentes, vazamento de resíduos e exploração ambiental, já os objetivos da sustentabilidade são abertos, vários autores abordam diversos objetivos e eles não são estáticos, sofrem mudanças de acordo com os interesses (SHEN; QI, 2012, p. 928), o ciclo fechado será discutido em uma seção específica neste artigo. A Economia Circular tem aplicação prática em vários sistemas, desde modernos modelos econômicos até processos industriais. Segundo a EMF (2013) a Economia Circular ganhou força a partir da década de 1970, graças aos esforços de algumas empresas, acadêmicos e líderes do pensamento. O conceito de Economia Circular se difundiu a partir de 2010 com a Fundação Ellen MacArthur (EMF). A sua missão é a aceleração da mudança do sistema econômico dos entes governamentais, empresas e academias. A economia circular busca a reconstrução do capital financeiro, humano, manufaturado, natural e social. A reconstrução dos capitais garante a indústria um aprimoramento dos fluxos de serviços e bens. A ênfase desse modelo econômico está na perpetuação dos recursos, com maior destaque aos ciclos menores (EMF, 2015). Embora a Economia Circular não seja algo recente, de acordo com a Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2018), no ano de 2014 a Economia Circular teve uma maior repercussão no mundo dos negócios, quando naquele ano foi lançado o relatório *‘Towards the Circular Economy: Accelerating the scale-up across global supply chains’* – Rumo à Economia Circular: Acelerando a expansão em todas as cadeias de suprimentos globais. Entre outras considerações importantes, este relatório destacou que:

A busca por uma melhoria substancial no desempenho dos recursos em toda a economia levou as empresas a explorar maneiras de reutilizar produtos ou seus componentes e restaurar mais de seus insumos preciosos, energia e mão de obra. Uma Economia Circular é um sistema industrial que é restaurador ou regenerativo por intenção e *design*. O benefício econômico da transição para esse novo modelo de negócios é estimado em mais de um trilhão de dólares em economia de material (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION; MCKINSEY & COMPANY, 2014, p. 13, *grifo nosso*).

O desenvolvimento da Economia Circular ao longo do tempo tem recebido contribuições de diversas organizações e especialistas, sua ideia central consiste que o sistema industrial transite para um sistema natural, esse movimento é responsável pela mudança do modelo linear para o modelo circular, essa transição pode contribuir para a

coexistência harmoniosa entre o processo de produção, consumo e o meio ambiente, e dessa forma, poderia resolver problemas relacionados ao desperdício dos recursos, poluição e degradação ambiental (SHEIN; QI 2012, p. 928). O meio ambiente ganha quando a indústria deixa de extrair dele recursos, esses ganhos refletem com um menor esgotamento e com menores índices de poluição, a sociedade se beneficia com as melhorias ambientais, além de se beneficiar com uma tributação mais justa (WEBSTER, 2015). Dentro da indústria Economia Circular pode proporcionar uma maior competitividade, redução dos custos com o melhor aproveitamento de material, maior desempenho do sistema produtivo e redução de desperdícios.

Estimativas na Europa mostram que práticas associadas à Economia Circular podem trazer redução de custos de mobilidade entre 60 a 80%, a partir de sistemas e soluções que usem energias renováveis. No setor de alimentos, práticas que reduzam o desperdício têm o potencial de gerar 25 a 50% de economia. Práticas que promovam o reuso de materiais podem reduzir o espaço construído de 25 a 35% (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

No que tange as premissas ambientais e éticas, muitos adeptos da Economia Circular, defendem fortemente a reutilização e reciclagem de materiais (ANDERSEN, 2016). Entretanto, as estimativas de custos de produtos e serviços tem alta relevância para as empresas industriais (LIEDER *et al*, 2017). Em uma Economia de Mercado e também em algumas economias planejadas, “os preços dos materiais e recursos naturais são muito baixos e refletirão principalmente os custos associados à mineração e valores de curto prazo, mas não ao esgotamento nem aos custos ambientais” (ANDERSEN, 2016, s/p). A relação de custo benefício levam as empresas de manufatura a uma posição incerta quando se trata de abordagens de Economia Circular, uma vez que os potenciais do projeto de seus produtos em combinação com novos modelos de negócios (circulares) não são conhecidos. Nesses casos, apenas uma gama limitada de opções circulares fará sentido do ponto de vista dos gerentes da empresa. Pode-se argumentar que se as empresas são racionais e com fins lucrativos, as opções de reciclagem e reutilização já deveriam ter sido realizadas. Mas em uma Economia Capitalista convencional, a reciclagem será realizada apenas onde for desejável do ponto de vista econômico privado (LIEDER *et al*, 2017). Nesse contexto, vale destacar que um princípio fundamental da Economia Circular é o *design*, pois é ele que permite que haja o retorno do recurso utilizando menos energia e permitindo sua continuidade. Ademais, o conceito da Economia Circular está relacionado com a prática dos 5R’s (repensar, recusar, reduzir, reutilizar e reciclar), e traz uma reflexão sobre a real necessidade do consumo de determinado produto (EMF, 2012).

A Economia Circular pode, ainda, atrair investimentos para a indústria brasileira. Em 2017, por exemplo, foram investidos 750 mil euros no consórcio ERA-MIN2 com enfoque na Economia Circular, em que vários países investem recursos em desenvolvimento e inovação tecnológica para a transformação mineral (FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS - FINEP, 2017, apud CNI, 2018, p. 28).

Assim, atualmente existem entidades que fazem financiamentos específicos para a transição da Economia Linear para a Economia Circular, uma dessas entidades é o Banco Europeu de Investimentos – *European Investment Bank* (EIB, 2017 apud CNI, 2018, p. 29). Dito isso, e pensando em inovação e/ou competitividade, todo valor que é mantido dentro da indústria, seja pelo reuso, extensão de vida ou remanufatura, é um sinal de diferenciação competitiva no mercado. A Economia Circular traz consigo o selo da diferenciação no mercado além de dar acesso a nichos que não foram devidamente explorados (THE BRITISH STANDARDS INSTITUTION – BSI, 2017). Segundo a EMF (2014), para atingir os objetivos da Economia Circular é preciso: i) A preservação e o aprimoramento do uso do capital natural, isso ocorre com utilização de ferramentas e técnicas específicas para restaurar e regenerar os recursos naturais; ii) A potencialização do rendimento dos recursos, isso leva principalmente

a uma redução no desperdício e contribui com a circulação dos recursos; e, iii) A estimulação e a incontestabilidade do sistema, gerando ganhos e impactos positivos a todas as partes interessadas. A ideia da Economia Circular é a priorização do sistema econômico que geram benefícios primários ao meio ambiente já no campo social os ganhos são implícitos. Entretanto, sua aplicação não é simples, sendo mais palatável em países que dão maior ênfase as questões ambientais, como por exemplo, na Suécia (GEISSDOERFER *et al.*, 2017). Todavia, também pode ser empregada em outros países desde que tenham uma sólida política ambiental, no caso do Brasil, já foram identificadas no setor industrial diversas oportunidades. Setores como a construção civil, mineração, eletroeletrônico, têxtil, entre outros (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2016b, 2017).

Economia Circular na mineração: A mineração é uma atividade econômica de extração, exploração, e beneficiamento dos recursos minerais, tem como característica o aproveitamento dos recursos naturais, para fornecer a sociedade insumos minerais que são empregados nas mais diversas indústrias (CARVALHO *et al.*, 2018). Segundo Cabral *et al.*, (2008), ocorreu o aumento substancial nas atividades mineradoras nos últimos anos, essa atividade deve-se manter entre as mais importantes para a geração de riquezas. Segundo o Conselho Internacional de Mineração e Metais – *International Council Mining and Metal* (ICMM, 2014), o Brasil atualmente é um dos maiores produtores mundiais de minério. Em 2016 a mineração foi responsável por 3,9% do produto interno bruto (PIB) do país (BRASIL, 2017 *apud* CABRAL *et al.*, 2008). Um dos maiores problemas da atividade minerária, é o passivo ambiental causado pela extração. A geração dos resíduos sólidos e a disposição dos rejeitos é um dos problemas que o setor enfrenta e que ficou evidenciado com os desastres de Mariana (Vale) e Brumadinho (Samarco) (DUTHIE; LINS, 2017).

Bomfim (2017), cita alguns dos impactos causados pela atividade mineradora, sendo alguns deles:

- a) Destruição das paisagens e florestas através do desmatamento impactando severamente a vida selvagem;
- b) Erosão do solo, limitando a possibilidade de uso para fins agrícolas;
- c) Perda da mata ciliar;
- d) Contaminação do solo e lençol freático por produtos tóxicos;
- e) Emissão de particulados para atmosfera impactando diretamente na qualidade de vida das pessoas.

Além de encontrar soluções para esses problemas, nos próximos anos, o setor minerário precisará diminuir os custos de operação, entre esses:

- a) Minimizar o volume de material movimentado da mina e de resíduos;
- b) Reduzir o consumo de água por tonelada produzida;
- c) Diminuir os riscos decorrentes dos processos de beneficiamento e da deposição de rejeitos;
- d) Minimizar os impactos da mina;
- e) Maximizar a satisfação social decorrente das operações mineiras, de processos de fechamento de mina e de reabilitação de áreas degradadas (CARVALHO *et al.*, 2018, p. 338).

Destarte, alguns problemas e custos do setor minerário podem ser resolvidos com a adoção da Economia Circular, pois, o modelo circular além de considerar a finitude dos recursos naturais, ele integra os recursos e busca um sistema regenerativo de produção, isso significa que os recursos ficam dentro do modelo por mais tempo, retornando ao ciclo produtivo. Potočník *apud* (WCEF, 2017) em sua apresentação ao Painel Internacional de Recursos da ONU, aponta que é necessário que haja a transição para um novo modelo econômico onde haja a quebra da ideia que só se tem desenvolvimento econômico com o uso de recursos naturais, ele ainda cobra um uso mais responsável dos recursos. A ideia defendida pelo autor segue os princípios da circularidade. O desenvolvimento da Economia Circular dentro do setor minerário tem um grande potencial, podendo trazer impactos positivos para o meio ambiente como menores índices de poluição e também na economia de energia e de recursos naturais. Entretanto, segundo Dias (2021) para se

aplicar um modelo de Economia Circular no setor minerário é necessário que se faça uma modulação do sistema para o emprego nos diversos setores minerários, existem fatores que devem ser considerados, a exemplo da geologia, minério extraído, natureza do resíduo produzido, entre outros. O sistema de exploração minerária segue o modelo linear, extrair, produzir e descartar. Esse modelo vem dando indícios de saturação, e, portanto, um modelo onde o recurso fica dentro do processo produtivo em uso pelo maior tempo possível, é interessante para esse setor (VILAÇA, 2020). Uma transição do modelo linear para o circular, na mineração além de representar por si só um salto na forma de se usar a matéria prima, impactando fortemente de forma positiva o meio ambiente, Stahel (2016), aponta que também haveria um aumento dos postos de emprego, pois, o produto proveniente desse sistema tomaria outras rotas dentro do próprio sistema de produção e, portanto, seria necessária mais mão de obra. Dentro da atividade mineradora, Lebre *et al.*, (2017) propõem que haja a inclusão dos resíduos já existentes da atividade mineradora dentro do estoque do material que está em uso, sendo posteriormente empregado os *loops* de restauração, tudo isso dentro do bojo da Economia Circular. Para Weber (2005), a ideia de se prolongar as atividades de certas minas já em funcionamento é totalmente viável. Manter os recursos dessas minas no ciclo de produção pelo maior tempo possível, extraindo o máximo de valor, depois recuperando-os e regenerando o produto no fim de sua vida útil são conceitos da Economia Circular que já vem sendo empregados na mineração.

Lítio: O lítio é um metal branco-prateado, pouco mais duro que o sódio, porém mais macio que o chumbo. De todos os metais, é o mais leve, com peso específico de 0,534 g/cm³, isto é, a metade da água. Como os outros metais alcalinos de seu grupo (sódio, potássio, rubídio e céscio), o lítio é quimicamente muito ativo e nunca ocorre como um elemento puro na natureza. É encontrado na forma de um mineral ou como um sal estável (BROWN, 2016). Segundo Braga e Sampaio (2008), os minerais de lítio ocorrem na natureza, principalmente, em pegmatitos graníticos, que são rochas ígneas de granulometria grossa compostas por quartzo, feldspato e mica. O espodumênio e os demais minerais de lítio ocorrem, geralmente, como um mineral acessório nos pegmatitos. Embora o lítio ocorra em diferentes minerais, somente o espodumênio, a lepidolita, a petalita, a ambligonita e a montebrasita são utilizados como fontes comerciais de lítio. Na atualidade, as principais fontes de lítio exploradas, comercialmente, são o espodumênio e a petalita. O Estudo da Economia Circular relacionado ao Lítio torna-se importante, tendo em vista que a reciclagem de elementos estratégicos e materiais críticos são essenciais para reduzir os impactos ambientais e humanitários desses materiais e pode contribuir para reduzir a dependência de fornecedores propensos a interrupções. Portanto, a recuperação de materiais primários é extremamente importante para a sustentabilidade futura (SOMMERVILLE *et al.*, 2021).

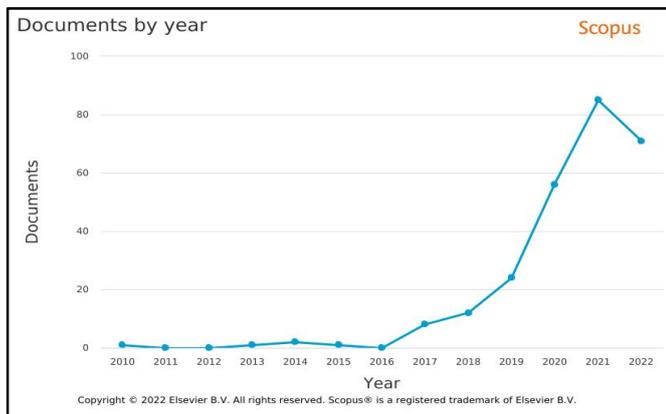
MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo se caracteriza como uma pesquisa qualitativa-quantitativa, e isso se dá, pois, as informações utilizadas para compô-lo, são dados de cunho estatístico e informações ordenadas. Foram analisadas uma gama de amostras, daí entra a abordagem quantitativa que é a responsável pela quantificação dos dados e torna-os amostras abrangentes para que a sociedade possa se apropriar deles. No que concerne a abordagem qualitativa, a análise dos dados depende do pesquisador e de sua experiência (GIL, 2002) A análise de conteúdo foi um dos métodos utilizados nessa pesquisa, e ela é composta por três etapas, sendo elas: i) pré-análise; ii) exploração e tratamento do material; iii) inferência e interpretação dos dados. Ao se fazer a análise de conteúdo, o que se pretende é “a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção (ou eventualmente de recepção), inferência esta que recorre a indicadores (quantitativos ou não)” (BARDIN, 1977, p. 38). Para compor a base de dados foi utilizada a plataforma *Scopus* onde foi adicionado o intervalo de datas de 1990 a 2022. Foram gerados 261 resultados a partir desse grupo de publicações selecionados como “*Economy Circular*” e “*Lithium*”, através da plataforma, foram selecionadas publicações limitadas a esse tempo cronológico e restritos aos títulos mencionados. A partir

da pesquisa gerada, foi feita uma análise dos resultados da pesquisa, por meio de dados e gráficos gerados pela própria plataforma. É importante mencionar que os gráficos apresentaram publicações a partir do ano de 2010, por não haver nesta plataforma, publicações anteriores a este ano com as limitações de título pesquisadas. Posteriormente, as publicações foram analisadas de acordo com as categorias de análise identificada. Desta forma, considerando os descritores Economy Circular e Lithium foram encontradas, as seguintes categorias de análise: os R's da sustentabilidade, necessidades de novas tecnologias, tecnologia verde, impulsionadores da Economia Circular no mercado do Lítio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise bibliométrica: A pesquisa realizada foi do ano de 1990 a 2022, no entanto, só houve publicações sobre o tema pesquisado a partir de 2010. Desta forma, observa-se no Gráfico 1 a evolução das publicações por ano, tendo como base de análise a quantidade de publicações sobre Economia Circular e Lítio no período de 2010 a 2022, através da plataforma *Scopus*.



Fonte: Base de dados Scopus (2022).

Gráfico 1. Evolução das publicações sobre Economia Circular e Lítio – 2010 a 2022

No Gráfico 1, é possível constatar que entre os anos de 2010 e 2016 o quantitativo de publicações foi ínfimo com ascensão a partir do ano de 2017, mantendo um crescimento exponencial. Provavelmente esse *gap* de pesquisa e posterior ascensão estão relacionados aos acontecimentos ambientais e econômicos específicos. Historicamente, o aumento da preocupação com as questões ambientais impulsionou a necessidade de repensar a cadeia produtiva do lítio e a escassez dos recursos naturais o que se intensifica com o crescimento populacional e econômico mundial que podem influenciar na temática. A expectativa é que nos próximos anos, mais trabalhos sejam publicados sobre Economia Circular com enfoque no lítio e venham enriquecer a plataforma de dados.

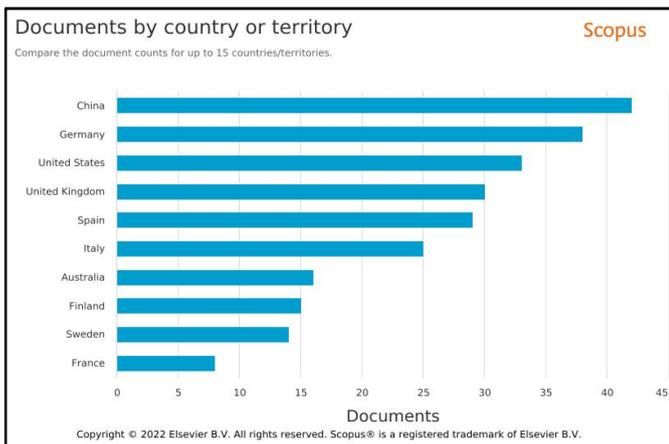


Gráfico 2. Quantidade de publicações por países/território – 2010 a 2022

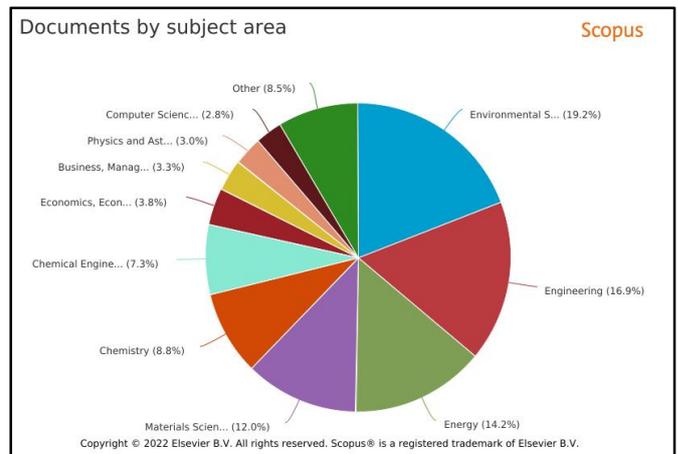
Especificamente no período que corresponde de 2017 a 2021 ocorreu um crescimento acelerado das publicações, sendo verificado que o ano de 2021 ocorreu o ápice sobre a temática, sendo encontrado um total de 85 referências naquele ano. O decréscimo observado no ano de 2022 provavelmente está relacionado com o momento da pesquisa (setembro de 2022), onde o ano ainda não está completo. O Gráfico 2 mostra a quantidade de publicações por países/território. Sobre a quantidade de publicações de acordo com país/território, é possível observar no Gráfico 2 que o maior número de artigos se originaram da China, as publicações chinesas totalizam 42 artigos de um total de 261, o que resulta em 16,1%. Entre os 10 países com mais publicações, 7 se encontram na Europa (exceção para a China, Estados Unidos e Austrália), dessa forma pode-se entender que a temática deva ser de grande pertinência para esses países. Não foram encontradas referências sobre a produção brasileira envolvendo a temática. A Tabela 1 mostra os tipos de documentos publicados na base de dados sobre Economia Circular e Lítio.

Tabela 1. Principais tipos de documentos que publicaram sobre a temática 'Economia Circular e Lítio'

| TIPOS DE DOCUMENTO | REGISTROS | EM % |
|--------------------|------------|------|
| Article | 175 | 67 |
| Review | 42 | 16,1 |
| Conference Paper | 28 | 10,7 |
| Book Chapter | 6 | 2,3 |
| Conference Review | 6 | 2,3 |
| Editorial | 2 | 0,8 |
| Data Paper | 1 | 0,4 |
| Erratum | 1 | 0,4 |
| Total | 261 | |

Fonte: Base de dados Scopus (2022)

De acordo com a Tabela 1, o maior índice de arquivos está representado por artigos que discorrem sobre a Economia Circular e o Lítio (67%). Logo após, as revistas representam cerca de 16,1% das publicações sobre o tema. Na sequência, estão os anais de eventos representando 10,7%. Os capítulos de livro e as revisões de conferência são representados cada um por 2,3%, o editorial por 0,8% das publicações, já o papel de dados e erratas representam individualmente cerca de 0,4% no período de análise. A Economia Circular aplicada ao lítio é abordada em várias áreas do conhecimento, de acordo com o Gráfico 3. Ao ser analisada de maneira mais detalhada as publicações da *Scopus*, salienta-se que a pesquisa se encaixa em áreas distintas, o que pode promover uma variação entre as áreas relatadas e a quantidade de artigos pesquisados. Foram contabilizados 241 artigos e 19 áreas de pesquisa.



Fonte: Base de dados Scopus (2022)

Gráfico 3. Quantidade de publicações por área

No Gráfico 3, é possível verificar que cerca de 19,2% das publicações correspondem a área da Ciência Ambiental, isto significa que a temática possui relação direta com questões ambientais. Em segundo lugar, com 16,9% destaca-se a área da Engenharia pelas inovações e

aplicações dos recursos e matéria-prima em inovações. Outra área que se destacou foi a de Energia com 14,2% das publicações. Por último, encontram-se a área de Ciência da computação com 2,8% das publicações. Na base de dados *Scopus* notou-se que algumas áreas ainda são deficitárias de publicações sobre o assunto, levando em consideração, o caráter multidisciplinar e interdisciplinar da Economia Circular, principalmente no que se refere ao lítio, no que tange os processos produtivos, produtos químicos, fonte energética, extração e mineração. O Quadro 1 mostra as 10 publicações mais citadas do ano de 2021, a escolha desse ocorreu em virtude do maior quantitativo de publicações no período pesquisado.

Quadro 1. Identificação das publicações mais citadas no ano de 2021

| Autores (Ano) | Título das Publicações | Citações | % Citações |
|---------------------------|---|----------|------------|
| Baars et al. (2021) | <i>Circular economy strategies for electric vehicle batteries reduce reliance on raw materials</i> | 83 | 22,00 |
| Nguyen et al. (2021) | <i>Polypeptide organic radical batteries</i> | 65 | 17,33 |
| Sommerville et al. (2021) | <i>A qualitative assessment of lithium ion battery recycling processes</i> | 58 | 15,50 |
| Piatek et al. (2021) | <i>Sustainable Li-Ion Batteries: Chemistry and Recycling</i> | 50 | 13,33 |
| Dalapati et al. (2021) | <i>Tin oxide for optoelectronic, photovoltaic and energy storage devices: A review</i> | 26 | 7,00 |
| Vieceli et al. (2021) | <i>Hydrometallurgical recycling of EV lithium-ion batteries: Effects of incineration on the leaching efficiency of metals using sulfuric acid</i> | 21 | 5,60 |
| Slattery et al. (2021) | <i>Transportation of electric vehicle lithium-ion batteries at end-of-life: A literature review</i> | 19 | 5,10 |
| Rinne et al. (2021) | <i>Simulation-based life cycle assessment for hydrometallurgical recycling of mixed LIB and NiMH waste</i> | 18 | 4,80 |
| Kotak et al. (2021) | <i>End of electric vehicle batteries: Reuse vs. recycle</i> | 18 | 4,80 |
| Wrålsen et al. (2021) | <i>Circular business models for lithium-ion batteries - Stakeholders, barriers, and drivers</i> | 17 | 4,54 |
| TOTAL | | 375 | 100,00 |

Fórmula : $x = n1 \times 100 / \text{total de } n$

Fonte: Desenvolvido pelos autores (2022)

Para cada publicação foi identificada a revista da publicação, bem como, a classificação no Qualis Capes, sendo realizada consulta na plataforma Sucupira levando em consideração o último quadriênio disponível (2013-2016) e a Área de Ciências Ambientais. Para análise a posteriori das publicações foram considerados descritores de análise *Economy Circular* e *Lithium* e identificada às categorias de análises encontradas nas publicações, sendo estas: os R's da sustentabilidade, necessidades de novas tecnologias, tecnologia verde, impulsionadores da Economia Circular no mercado do Lítio. Conforme o Quadro 01, os pesquisadores com o estudo mais citado no ano de maior ápice da publicação foram: Baars et al., (2021), com 83 citações, o artigo intitulado "*Circular economy strategies for electric vehicle batteries reduce reliance on raw materials*" (Estratégias de economia circular para baterias de veículos elétricos reduzem a dependência de matérias-primas), foi publicado na revista *Nature Sustainability*, revista lançada em 2018 e ainda sem Qualis Capes. Esta publicação apresentou o percentual aproximado de 22,00% do total geral das citações e destacou principalmente sobre: necessidades de novas tecnologias envolvendo o lítio e os R's da sustentabilidade. Os pesquisadores que possuem o segundo estudo mais citado no ano de maior ápice da publicação foram: Nguyen et al., (2021), com 65 citações, o artigo intitulado "*Polypeptide organic radical batteries*" (Baterias de radicais orgânicos polipeptídicos), foi publicado na revista *Nature*, revista lançada em 1869 e com classificação Qualis Capes A1. Esta publicação apresentou o percentual aproximado de 17,33% do total geral das citações e destacou principalmente sobre: tecnologia verde.

O terceiro estudo mais citado, foi o de Sommerville et al., (2021), com 58 citações, o artigo intitulado "*A qualitative assessment of lithium ion battery recycling processes*" (Uma avaliação qualitativa dos processos de reciclagem de baterias de íon de lítio), foi publicado na revista *Resources, Conservation and Recycling*, revista lançada em 1988 e com classificação Qualis Capes A1 na Área de Ciências Ambientais conforme consulta na plataforma Sucupira no último quadriênio disponível (2013-2016). Esta publicação apresentou o percentual aproximado de 15,50% do total geral das citações e destacou principalmente sobre: os R's da sustentabilidade. Os pesquisadores com o quarto estudo mais citado foram Piatek et al., (2021), com 50 citações, o artigo intitulado "*Sustainable Li-Ion Batteries: Chemistry and Recycling*" (Baterias de Li-Ion Sustentáveis: Química e Reciclagem), foi publicado na revista *Advanced Energy Materials*, revista lançada em 2011 e ainda sem

Qualis Capes conforme consulta na plataforma Sucupira no último quadriênio disponível (2013-2016). Esta publicação apresentou o percentual aproximado de 13,33% do total geral das citações e destacou principalmente sobre: tecnologia verde. Já o quinto estudo mais citado no ano de maior ápice foi o de Dalapati et al., (2021), com 26 citações, o artigo intitulado "*Tin oxide for optoelectronic, photovoltaic and energy storage devices: A review*" (Óxido de estanho para dispositivos optoeletrônicos, fotovoltaicos e de armazenamento de energia: uma revisão), foi publicado na revista *Journal of Materials Chemistry A*, revista lançada em 2013 e ainda sem Qualis Capes conforme consulta na plataforma Sucupira no

último quadriênio disponível (2013-2016). Com o percentual aproximado de 7%, esta publicação, não foi considerada para a próxima análise da pesquisa por apresentar conteúdo muito específico não sendo foco deste estudo. Os autores, Vieceli et al., (2021), foram os pesquisadores com o sexto estudo mais citado e obtiveram 21 citações, o artigo intitulado "*Hydrometallurgical recycling of EV lithium-ion batteries: Effects of incineration on the leaching efficiency of metals using sulfuric acid*" (Reciclagem hidrometalúrgica de baterias de íons de lítio EV: Efeitos da incineração na eficiência de lixiviação de metais usando ácido sulfúrico), foi publicado na revista *Waste Management*, revista lançada em 1983 e com Qualis Capes A1. Apresentou o percentual aproximado de 5,60% do total geral das citações e também não foi considerada para a próxima análise da pesquisa por apresentar conteúdo muito específico não sendo foco deste estudo. O sétimo estudo mais citado no ano de maior ápice da publicação foi: Slattery et al., (2021), com 19 citações, o artigo intitulado "*Transportation of electric vehicle lithium-ion batteries at end-of-life: A literature review*" (Transporte de baterias de íon-lítio de veículos elétricos em fim de vida: uma revisão de literatura), foi publicado na revista *Resources, Conservation and Recycling*, revista lançada em 1988 e com Qualis Capes A1.

Esta publicação apresentou o valor aproximado de 5,10% do total geral das citações e destacou principalmente sobre: os R's da sustentabilidade. Os pesquisadores com o oitavo estudo mais citado foram Rinne et al., (2021), com 18 citações, o artigo intitulado "*Simulation-based life cycle assessment for hydrometallurgical recycling of mixed LIB and NiMH waste*" (Avaliação do ciclo de vida baseada em simulação para reciclagem hidrometalúrgica de resíduos mistos de LIB e NiMH), foi publicado na revista *Resources, Conservation and Recycling*, revista lançada em 1988 com Qualis Capes A1. Esta publicação apresentou o percentual aproximado de 4,80 % do total geral das citações e destacou principalmente sobre: necessidades de novas tecnologias e os R's da sustentabilidade. O nono estudo mais citado foi o de Kotak et al., (2021), com 18 citações, o artigo intitulado "*End of electric vehicle batteries: Reuse vs. recycle*" (Fim das baterias de veículos elétricos: Reutilizar vs. reciclar), foi publicado na revista *Energies*, revista lançada em 1975 e com Qualis Capes A2. Esta publicação apresentou o percentual aproximado de 4,80% do total geral das citações e destacou principalmente sobre: os R's da sustentabilidade. O último estudo mais citado foi de Wrålsen et al., (2021), com 17 citações, o

Quadro 2. Resultados das publicações observando os descritores Economy Circular e Lithium

| AUTORES (ANO) | SÍNTESE E RESULTADOS DAS PUBLICAÇÕES |
|---------------------------|--|
| Baars et al. (2021) | <p>Síntese da pesquisa: foi realizada uma análise de fluxo de material para entender os fluxos atuais e futuros de cobalto incorporado em baterias de veículos elétricos em toda a União Europeia. Um cenário de referência é apresentado e comparado com quatro estratégias: substituição orientada por tecnologia e redução de cobalto orientada por tecnologia, novos modelos de negócios para estimular a reutilização/reciclagem de baterias e estratégia orientada por políticas para aumentar a reciclagem.</p> <p>Resultados: novas tecnologias fornecem as estratégias mais promissoras para reduzir substancialmente a dependência do cobalto, mas podem resultar em transferência de carga, como um aumento na demanda de níquel. Para evitar estes últimos, os desenvolvimentos tecnológicos devem ser combinados com um sistema de reciclagem eficiente. Estratégias de economia circular mais ambiciosas, tanto em nível governamental quanto empresarial, são urgentemente necessárias para enfrentar com sucesso os desafios de recursos atuais e futuros em toda a cadeia de suprimentos.</p> |
| Nguyen et al. (2021) | <p>Síntese da pesquisa: demonstra uma bateria baseada em polipeptídeos sem metal, na qual viologênicos e radicais nitróxidos são incorporados como grupos redox-ativos ao longo das cadeias polipeptídicas para funcionar como materiais anódicos e catódicos, respectivamente. Esses polipeptídeos redox-ativos atuam como materiais ativos que são estáveis durante a operação da bateria e subsequentemente se degradam sob demanda em condições ácidas para gerar aminoácidos, outros blocos de construção e produtos de degradação.</p> <p>Resultados: Foi demonstrado a degradação sob demanda dos polipeptídeos e a identificação e separação dos produtos de degradação. Reconstruir os polímeros dos produtos de degradação seria a demonstração final de reciclabilidade. O principal problema para conseguir isso foi separar os produtos de degradação em uma escala grande o suficiente para a reconstrução subsequente nos polímeros originais.</p> |
| Sommerville et al. (2021) | <p>Síntese da pesquisa: foram analisados 44 recicladores comerciais e avaliaram-se seus processos de reciclagem e recuperação. Uma nova matriz de avaliação qualitativa denominada Estratégico de ponderação e avaliação de valor (SWAVE) é proposta e usada para comparar a importância estratégica e o valor de vários materiais em EoL LIBs. A sustentabilidade e a qualidade do material reciclado são avaliadas comparando a forma final ou composição após os processos de reciclagem, os processos industriais e o tipo de indústria (setor primário, fabricante ou reciclador).</p> <p>Resultados: A avaliação qualitativa do valor e importância dos materiais separados por diversos processos de reciclagem (SWAVE) forneceu uma visão contextualizada útil e oportuna da recuperação estratégica de materiais, ponderada pela indústria em que cada empresa opera e o destino dos materiais recuperados. Reutilizar ou reciclar uma alta proporção de materiais críticos e produtos valiosos em um LIB é vital para garantir um futuro sustentável e de baixo carbono e onde uma bateria de íons de lítio 100% reciclável se torne uma realidade.</p> |
| Piątek et al. (2021) | <p>Síntese da pesquisa: o avanço comercial das baterias de íons de lítio (LIBs) na década de 1990 moldou irrevogavelmente o cenário atual de armazenamento de energia, mas as baterias descartadas representam um perigo crescente para o meio ambiente. Pode-se inicialmente supor que os processos de reciclagem são tecnologias louváveis para garantir um contrapeso à fabricação de LIBs. No entanto, permanece a questão se o estado da arte atual em tecnologias de reciclagem de LIBs pode ser considerado verde. Este problema deve-se à aplicação de produtos químicos tóxicos ou à geração in situ de substâncias nocivas durante o processo de reciclagem. Além da potencial toxicidade, as soluções atuais são acompanhadas de intenso consumo de energia, causando emissões de dióxido de carbono, em desacordo com os princípios da economia circular. Esta revisão fornece uma avaliação crítica de artigos de pesquisa publicados e patentes para obter uma visão ampla sobre a sustentabilidade das tecnologias de reciclagem de LIBs.</p> <p>Resultados: embora a eficiência das tecnologias de reciclagem aplicadas industrialmente possa exibir uma alta eficiência geral, seu projeto geral de processo é geralmente baseado na redução de resíduos e reciclagem. Por outro lado, a reciclagem sustentável de LIBs deve contar com processos circulares, garantindo a reciclagem de todos os materiais para zero desperdício e utilização de energia minimizada. São apresentadas as soluções atuais e o desenvolvimento esperado na reciclagem de LIBs, que vão desde a desmontagem sobre a separação de componentes até a aplicação de materiais bioderivados.</p> |
| Slattery et al. (2021) | <p>Síntese da pesquisa: realizou uma revisão crítica da literatura revisada por pares sobre reutilização e reciclagem de baterias de tração de veículos elétricos para avaliar como o transporte é representado.</p> <p>Resultados: Foram 60 estudos identificados, 70% mencionaram a coleta e o transporte como um desafio para a reutilização ou reciclagem de baterias, e 63% identificaram a necessidade de políticas ou pesquisas adicionais relacionadas à coleta e transporte. Entre 17 artigos que enfocam o custo, as estimativas de custos de transporte variam muito entre os estudos, de mais de cinco dólares por kg a menos de 30 centavos, representando, em média, 41% do custo total da reciclagem. Estudos que examinaram o impacto ambiental do transporte fim de vida (<i>end-of-life</i> – EoL) sugerem que ele contribui com 1 a 3,5% das emissões de GEE do ciclo de vida de uma bateria reciclada. Em resposta ao tratamento limitado e altamente variável do transporte EoL de baterias, a revisão da literatura é seguida por informações contextuais sobre os Estados Unidos, incluindo a estrutura regulatória e a rede existente para EoL baterias. As recomendações para estudos futuros incluem pesquisas específicas do local sobre a localização ideal das instalações, considerando tanto a infraestrutura existente quanto a projetada, e que reflitam os custos e os impactos ambientais e sociais em escalas locais.</p> |
| Rinne et al. (2021) | <p>Síntese da pesquisa: este estudo, a simulação do fluxograma foi combinada com a avaliação do ciclo de vida para investigar os impactos ambientais de um processo de reciclagem de baterias hidrometalúrgicas conceitual e experimentalmente comprovado, onde resíduos de baterias de hidreto metálico de níquel (NiMH) são usados como redutores para baterias de íons de lítio (LIB) resíduos, melhorando sinergicamente a extração de metais valiosos de ambos os tipos de resíduos. Várias opções para circulação de sódio na precipitação de terras raras foram consideradas em diferentes cenários.</p> <p>Resultados: o principal benefício do processo foi a redução do consumo de lixivantes. Dos cenários de gestão de sódio investigados, a cristalização de sulfato de sódio foi considerada a opção mais viável ambientalmente, permitindo o uso de Na como um produto químico de precipitação para recuperação de terras raras. Reduções potenciais significativas nas mudanças climáticas, acidificação, eutrofização da água doce e toxicidade humana também foram alcançadas quando comparadas aos impactos do ciclo de vida da produção primária de metais de bateria, principalmente devido à alta pegada ambiental da produção de níquel primário e sulfato de cobalto. Embora outras melhorias no processo tenham sido consideradas possíveis, a disponibilidade futura de baterias de NiMH usadas pode limitar a aplicação do conceito de processo descrito em escala industrial.</p> |
| Kotak et al. (2021) | <p>Síntese da pesquisa: o artigo mostra que o desafio atual é decidir entre reutilizar uma bateria de VE ou reciclá-la após seu primeiro uso e investiga teoricamente essas áreas, ou seja, reciclar e reutilizar.</p> <p>Resultados: foi constatado que existem vários processos de reciclagem utilizados comercialmente e também alguns estão em pesquisa para recuperar o máximo possível de materiais e quantidade. O conceito de reutilização (segunda vida) da bateria é promissor, pois, ao final da primeira vida, as baterias dos VEs podem ser utilizadas em diversas aplicações, como armazenar energia gerada a partir de fontes renováveis para dar suporte à rede governamental. No entanto, a análise de custo e ciclo de vida (LCA) demonstrou que existem vários aspectos envolvidos nas aplicações de reutilização de baterias. Doravante, um método generalizado de ACV não pode fornecer uma abordagem ótima para todos os casos. É importante ter um estudo detalhado sobre cada uma das aplicações de reutilização de baterias. Até então, é seguro dizer que reutilizar a bateria é uma boa opção, pois daria algum tempo às empresas de reciclagem para desenvolver métodos de baixo custo e eficiência energética.</p> |
| Wrålsen et al. (2021) | <p>Síntese da pesquisa: a pesquisa concentra principalmente em questões técnicas e econômicas baseadas na reciclagem e no segundo uso de baterias, em vez de modelos de negócios circulares. O objetivo deste estudo foi explorar os modelos de negócios circulares, impulsionadores, barreiras e partes interessadas necessárias para permitir a recaptura de valor. O método de painel Delphi foi aplicado para comunicar com especialistas em baterias de várias disciplinas.</p> <p>Resultados: as descobertas do estudo revelam que o modelo de negócios circular preferido inclui várias estratégias circulares. De acordo com o painel de especialistas, o driver mais crítico são os regulamentos e políticas nacionais e internacionais; a barreira mais crítica é a viabilidade financeira; as partes interessadas mais importantes são os governos e os fabricantes de veículos.</p> |

Fonte: Desenvolvido pelos autores (2022)

artigo intitulado “Circular business models for lithium-ion batteries – Stakeholders, barriers, and drivers” (Modelos de negócios circulares para baterias de íons de lítio – Partes interessadas, barreiras e drivers), foi publicado na revista *Journal Of Cleaner Production*, revista lançada em 1993 e com Qualis Capes A1. Esta publicação apresentou o percentual aproximado de 4.54 % do total geral das citações e destacou principalmente sobre: impulsionadores da Economia Circular no mercado do lítio e R’s da sustentabilidade.

Análise dos resultados das publicações de acordo com as categorias de análise: O Quadro 2 mostra os resultados das publicações observando os descritores de análise e as categorias de análise encontradas nos artigos. O Quadro 2 mostra a síntese e os principais resultados das publicações com os descritores *Economy circular* e *Lithium* de acordo com cada categoria de análise, essas publicações e categorias serão melhores discutidas a seguir:

Necessidades de novas tecnologias. Dois autores destacaram as necessidades de novas tecnologias, são eles, Baars *et al.*, (2021) e Rinne *et al.*, (2021). Estas publicações levantaram preocupações a respeito da necessidade de novas tecnologias estratégicas ou um sistema de reciclagem eficiente que reduza a dependência do cobalto, pois, o aumento do consumo de equipamentos eletroeletrônicos produz uma grande quantidade de resíduos que contém metais pesados como lítio e o cobalto.

Os R’s da sustentabilidade. No que tange o contexto dos R’s, foram mencionados apenas 2R’s (reciclar e reutilizar), as citações envolveram 6 autores, Baars *et al.* (2021), Kotak *et al.*, (2021), Slattery *et al.*, (2021), Sommerville *et al.*, (2021), Rinne *et al.*, (2021) e Wrålsen *et al.* (2021). As publicações trataram da dificuldade atual da decisão entre reutilizar uma bateria ou reciclá-la após o uso e constataram que uma boa estratégia é reutilização das baterias, até que as empresas e pesquisadores descubram alternativas e métodos eficientes e com menor custo. Contudo, vale destacar que o conceito de reutilização (segunda vida) da bateria é promissor.

Tecnologia Verde. No que trata a tecnologia verde, 2 autores trataram desta temática, a saber: Nguyen *et al.*, (2021) que trouxe em sua pesquisa uma proposta de bateria a base de polipeptídeos que visa atender à necessidade de produtos químicos alternativos para baterias verdes e sustentáveis em uma futura economia circular; e, Piątek *et al.*, (2021) que argumentaram que os processos de reciclagem são tecnologias louváveis para garantir um contrapeso à fabricação de baterias de íons lítio (LIBs). Contudo, ainda existem dúvidas sobre o estado da arte atual em tecnologias de reciclagem de LIBs e tecnologia verde.

Impulsionadores da Economia Circular no mercado do lítio: Sobre esta categoria de análise foi encontrada apenas 1 publicação dos autores Wrålsen *et al.*, (2021) que questionaram sobre os principais impulsionadores para desenvolver modelos de negócios circulares no mercado de baterias de íon-lítio. Entre as discussões trataram sobre regulamentação, políticas nacionais e internacionais e benefícios econômicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como objetivo geral mapear a produção científica sobre Economia Circular e o Lítio, a partir das publicações disponíveis, com acesso livre e de todo o acesso aberto na base de dados *Scopus* no período de 2010 a 2022. Apresentando a seguinte problemática: como está caracterizada a produção científica sobre Economia Circular aplicada ao contexto de baterias de lítio na base de dados *Scopus*?

Foi identificado a partir desta pesquisa:

- Há um aumento das publicações sobre a temática nos últimos anos, principalmente a partir do ano de 2017;
- A China e alguns países europeus possuem o maior número

de publicações sobre a temática;

- Sobre as principais áreas que abordaram sobre descritores *Economy circular* e *Lithium*, destaca-se a área da Ciência Ambiental, visto que se refere a um tema que está diretamente ligado ao assunto foco da pesquisa. A principal forma de divulgação dos materiais acadêmicos encontra-se na forma de artigos científicos.

A partir do que foi exposto, infere-se que a temática Economia Circular e Lítio é de interesse no ambiente acadêmico, com várias publicações nos últimos anos, retratando uma variedade de temas que não se limitam apenas a área da Ciência Ambiental, mas se correlacionam com outras áreas. Quando avaliadas as categorias de análise das 10 publicações mais citadas quando analisado o ano de maior ápice de publicação, no que se refere às categorias de análises, observa-se que: 2 publicações foram desconsideradas; 6 publicações trataram sobre os R’s da sustentabilidade; 2 publicações relataram sobre as necessidades de novas tecnologias; 2 publicações trataram sobre tecnologia verde; 1 publicação levantou questionamentos sobre os impulsionadores da Economia Circular no mercado do Lítio. No total das publicações, o assunto em comum foi a necessidade urgente de busca por alternativas que priorizem o meio ambiente e garanta sustentabilidade para as novas gerações, tendo como maior destaque as discussões sobre os R’s da sustentabilidade. No que concerne a limitação deste estudo, pode-se mencionar a amostra, sendo que esta fez uso exclusivamente da base de dados *Scopus*. Como recomendação para pesquisas futuras, aconselha-se o emprego de outras bases de dados, tais como: *Web of Science*, *Scielo* ou *Google Acadêmico*, para realizar uma pesquisa comparativa sobre a temática. É válido realizar outras buscas por temas relacionados, além da inclusão de novas formas de análises dos dados que foram encontrados.

REFERÊNCIAS

- ANDERSEN, Mikael Skou. An introductory note on the environmental economics of the circular economy. *Sustainability Science, Heidelberg*, v. 2, n. 1, p. 133-140, 2007.
- BARDIN, Laurence. Análise de conteúdo. Lisboa: Edições 70, 1977.
- BAARS, Joris *et al.* Circular economy strategies for electric vehicle batteries reduce reliance on raw materials. *Nature Sustainability*, 2021.
- BOMFIM, Marcela Rebouças. Avaliação de impactos ambientais da atividade minerária. Cruz das Almas, BA: UFRB, 2017.
- BRAGA, Paulo Fernando Almeida; SAMPAIO, João Alves. Lítio. IN: Rochas e Minerais Industriais no Brasil: usos e especificações. 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2008. p. 585-603, 2008.
- BRASIL. Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em: 20 mai. 2022.
- BRASIL. [Constituição (1988)]. Constituição da República Federativa do Brasil: promulgada em 5 de outubro de 1988. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 1990.
- BROWN, Teresa *et al.* Lithium: Definitions, mineralogy and deposits. *British Geological Survey*, 2016.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. BSI 8001: framework for implementing the principles of the circular economy in organizations.
- CABRAL JUNIOR, Marsis *et al.* A mineração no estado de São Paulo: situação atual, perspectivas e desafios para o aproveitamento dos recursos minerais. *Geociências*, v.27, n.2, pp. 171-192, 2008.
- CARVALHO; Pedro Sérgio Landim de; MESQUITA; Pedro Paulo Dias; REGIS; Rafael David Dirques; MEIRELLIS; Thamyris Lima de. *Sustentabilidade socioambiental da mineração. BNDES | Mineração Setorial* 47, p. 333-390, 2018.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Economia circular: oportunidades e desafios para a indústria brasileira /

- Confederação Nacional da Indústria. – Brasília: CNI, 2018.
- DIAS, Pedro Barros da Silva. Avaliação da implementação de um modelo circular de economia na indústria mineradora através de uma análise SWOT. 2021. 55 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Economia circular: caminho estratégico / Confederação Nacional da Indústria. – Brasília: CNI, 2019.
- DALAPATI, Goutam Kumar, *et al.* Tin oxide for optoelectronic, photovoltaic and energy storage devices: A review. *Journal of Materials Chemistry A*, 2021.
- DUTHIE; Ana, Cristina, Ribeiro; LINS; Fernandes. A Economia Circula e o papel da mineração. VI Jornada do Programa de Capacitação Institucional-PCI/CETEM, 2017.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. *Towards the Circular Economy*. vol. 1 (Isle of Wight), 2013.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Towards the circular economy: economic and business rationale for an accelerated transition. *Cowes: [s.n.]*, v. 3, 2014.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Growth within: a circular economy vision for a competitive Europe, 2015.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. The new plastics economy rethinking the future of plastics, 2016.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Uma economia circular no Brasil: uma exploratória inicial.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. O conceito de uma economia circular. 2017.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Escolas de pensamento. 2017.
- GEISSDOERFER, Martin *et al.* The Circular Economy and new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*. n. 143. p. 757-768. 2017.
- GAUSTAD, Gabrielle *et al.* Circular Economy Strategies for Mitigating Critical Material Supply Issues. *Resour. Conserv. Recycl.* 2018, 135, 24–33.
- GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 4 ed., São Paulo: Atlas, 2002.
- HOORNWEG, Daniel; BHADA-TATA, Perinaz; KENNEDY, Christopher. Peak Waste: When Is It Likely to Occur? *J. Ind. Ecol.* 2015, 19, 117–128.
- ICMM – INTERNATIONAL COUNCIL ON MINING AND METALS. The role of mining in national economies. 2. ed. London, 2014.
- KOTAK, Yash *et al.* End of electric vehicle batteries: Reuse vs. recycle. *Energies*, 2021
- LÈBRE, Éléonore; CORDER, Glen, GOLEV, Artem. The Role of the Mining Industry. *Journal of Industrial Ecology*. V 21, N 3, 2017.
- LIEDER, Michael; ASIF, Farazee; RASHID, Amir; MIHELÍČ, Aleš ; KOTNIK, Simon. Towards circular economy implementation in manufacturing systems using a multi-method simulation approach to link design and business strategy. *International Journal Adv. Manuf. Technol.* n. 93. p. 1953–1970. 2017.
- MELIN, Hans Eric. The Battery Recycling Market. For the Global Battery Alliance, 2021.
- NGUYEN, Tan P. *et al.* Polypeptide organic radical batteries. *Nature*, V 593, 2021.
- PIĄTEK, Jędrzej *et al.* Sustainable Li-Ion Batteries: Chemistry and Recycling. *Advanced Energy Materials*, 2021.
- RINNE, Marja *et al.* Simulation-based life cycle assessment for hydrometallurgical recycling of mixed LIB and NiMH waste. *Resources, Conservation & Recycling*, 2021.
- SHEN, Xilin; QI, Chao. Countermeasures towards Circular Economy Development in West Regions. *Energy Procedia*, 2012.
- SLATTERY, Margaret *et al.* Transportation of electric vehicle lithium-ion batteries at end-of-life: A literature review. *Resources, Conservation & Recycling*, 2021.
- Sommerville, Roberto *et al.* qualitative assessment of lithium ion battery recycling processes. *Resources, Conservation & Recycling*, 2021.
- STAHEL, Walter. R. The circular economy. *Nature*, v. 531, p. 435-438, 2016.
- SONOC, Alexandru; JESWIET, Jack. A Review of Lithium Supply and Demand and a Preliminary Investigation of a Room Temperature Method to Recycle Lithium Ion Batteries to Recover Lithium and Other Materials. *Procedia*, 15, 289–293, 2014.
- THE BRITISH STANDARDS INSTITUTION. BSI 8001: framework for implementing the principles of the circular economy in organizations. 2017.
- VIECELI, Nathália *et al.* Hydrometallurgical recycling of EV lithium-ion batteries: Effects of incineration on the leaching efficiency of metals using sulfuric acid. *Waste Management*, 2021.
- VILAÇA; André Sales Issa. Valorização de resíduos de mineração de ferro do quadrilátero ferrífero: métricas de avaliação na perspectiva da economia circular. Dissertação de mestrado (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.
- WANG, Xue *et al.* Economic and Environmental Characterization of na Evolving Li-Ion BatteryWaste Stream. *J. Environ. Manag.*, 135, 126–134, 2014
- WRÅLSEN, Benedikte *et al.* Circular business models for lithium-ion batteries - Stakeholders, barriers, and drivers. *Journal of Cleaner Production*, 2021.
- WCEF-World Circular Economy Forum. Summary of The World Circular Economy Forum, v. 208, n. 20, 2017.
- WEBER, Ivan. 2005. Atualizando a mineração sustentável: “Toda a mina, toda a comunidade, todo o planeta” através da 'ecologia industrial' e estratégias baseadas na comunidade. Salt Lake City, UT, EUA: Weber Sustainability Consulting.
- WEBSTER, Ken. The Circular Economy – a wealth of flows. Geneva: Ellen MacArthur Foundation, 2015.
