



# ConBRepro

XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



01 a 03  
de dezembro 2021

## Economia Circular Nos Plásticos: Uma Análise Teórica de Indústrias do Setor

**Taís Soares de Carvalho**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - UTFPR-PG

**Gabriel Fernandes Sales**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - UTFPR-PG

**Elias Lira dos Santos Júnior**

Departamento de Engenharia Ambiental - UTFPR-MD

**Cassiano Moro Piekarski**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – UTFPR-PG

**Resumo:** O uso do plástico como material para fabricação de bens de consumo impulsiona um crescimento econômico global. Todavia, proporcional a esse desenvolvimento, há o aumento de produção de resíduos plásticos, estima-se que anualmente é descartado em torno 34 milhões de toneladas destes resíduos. A fim de reduzir esse número, é necessário realizar aplicações de um modelo circular. A Economia Circular (EC) visa alcançar a sustentabilidade econômica através de estratégias como circulação de recursos, conscientização da sociedade, utilização de matérias-primas renováveis, melhoria no design e reciclagem. Neste contexto, o presente trabalho tem como finalidade analisar através de uma revisão literária, o comportamento das indústrias que utilizam o plástico em seu processo, relacionando estratégias da EC, e está dividido em 2 fases: (1) aplicar o método de revisão sistemática *Methodi Ordinatio* para selecionar artigos relevantes; (2) revisar de forma quantitativa os artigos e verificar quais são as aplicações circulares que as indústrias estão executando quando se refere ao plástico. Como resultado analisou-se que estudos globais estão sendo efetuados de forma recente, estratégias sustentáveis a fim de reduzir o número de resíduos descartados e a utilização de recursos não renováveis vem sendo aplicadas, entre elas pode se destacar a reutilização de produtos, a utilização de recursos biodegradáveis e técnicas de design. Assim pode-se concluir, que as empresas vêm se adaptando para estratégias mais circulares e com isso pode-se analisar como estão sendo aplicado essas práticas.

**Palavras-chave:** Economia Circular, Industria Plásticas, Aplicação, Estratégias.

## Circular Economy in Plastics: A Theoretical Analysis of Industrial Industries

**Abstract:** The use of plastic as a material for manufacturing consumer goods drives global economic growth. However, proportional to this development, there is an increase in the production of plastic waste, it is estimated that annually around 34 million tons of this waste is discarded. In order to reduce this number, it is necessary to perform applications of a circular model. The Circular Economy (CE) aims to achieve economic sustainability through strategies such as circulation of resources, awareness of society, use of renewable raw materials, improvement in design and recycling. In this

context, this work aims to analyze, through a literary review, the behavior of industries that use plastic in their process, relating CE strategies, and is divided into 2 phases: (1) apply the method of systematic review *Methodi Ordinatio* to select relevant articles; (2) quantitatively review the articles and verify which are the circular applications that industries are performing when referring to plastic. As a result, it was analyzed that global studies are being carried out recently, sustainable strategies in order to reduce the number of discarded waste and the use of non-renewable resources have been applied, among them the reuse of products, the use of Biodegradable resources and design techniques. Thus, it can be concluded that companies have been adapting to more circular strategies and with this it can be analyzed how these practices are being applied.

**Keywords:** Circular Economy, Plastic Industry, Application, Strategies.

## 1. Introdução

O plástico é um dos materiais que desempenha um papel primordial para a economia global. Diversos setores industriais como, construção civil, moveleiro, têxtil utilizam materiais a base de polímeros como matérias-primas (ÇELİK; KILIÇ, 2020a). Estima-se que em até 2030 a quantidade de plásticos em circulação aumente de 260 para 460 milhões de toneladas por ano (HUNDERTMARK et al., 2018). Quando aplicado em uma economia linear, esses plásticos utilizados são descartados e depositados de forma direta ou indireta ao meio ambiente.

Presume-se que no ano de 2050 o acúmulo de resíduos plásticos chegará em torno de 3,4 bilhões de toneladas (ZHU et al., 2021). Grande parte desses resíduos são despejados em aterros, incineração e oceanos, contribuindo para o avanço de impactos ambientais. Por isso, estratégias da Economia Circular vêm sendo incentivadas em indústrias que utilizam o plástico como matéria-prima. Essas não se baseiam apenas nos princípios dos 3Rs (reduzir, reciclar e reutilizar), há o complemento de 3 novos conceitos, recuperar, redesenhar e remanufaturar, tornando-se assim 6Rs (ZHU et al., 2021).

Há diferentes aplicações desses conceitos em indústrias que utilizam o plástico como matéria-prima de seus processos, todavia, não se encontrou até o momento uma revisão que demonstre de forma geral, as aplicações que já foram realizadas. Nesse cenário, propõe-se a seguinte pergunta de pesquisa: Como indústrias que utilizam o plástico estão aplicando os conceitos da Economia Circular? Assim, o objetivo deste artigo é realizar uma revisão sistemática para encontrar as aplicações da Economia Circular em indústrias que utilizam plásticos em seus processos e produtos.

Este artigo está dividido em cinco seções, a primeira refere-se à introdução e justificativa de construção deste artigo, apresentado acima. A segunda seção demonstra o contexto teórico da produção de plásticos e das estratégias da Economia Circular presentes. A terceira seção é composta pela apresentação da aplicação da metodologia através do *Methodi Ordinatio*. A quarta seção apresenta os resultados e discussões, onde foi possível demonstrar uma análise bibliométrica da pesquisa e responder à questão proposta a partir das evidências encontradas. E, a última seção apresenta as considerações finais encontradas no presente estudo.

## 2. Referencial teórico

A produção de plásticos intensificou-se entre os anos de 1950 e 2017 em diversas áreas. Nos setores de embalagens, construção civil e têxtil, o plástico tem participação de 36%, 14% e 16% respectivamente (ÇELİK; KILIÇ, 2020b; SAMAK et al., 2020). Os plásticos são classificados por muitos critérios, incluindo sua composição (sintético ou natural), propriedades físico-químicas e a determinação para qual produto será destinado (PIONTEK, 2019).

Atualmente, a economia global do plástico é vastamente linear, grande parte do que produzem e consomem são descartados sem nenhuma recuperação (SCHYNS; SHAVER,

2021). A produção de plásticos a partir de fontes de combustíveis fósseis, como Polietileno (PE), Poliestireno (PS), Polipropileno (PP), Polietileno tereftalato (PET) e Policloreto de Vinila (PVC) geram em excesso uma quantidade de resíduos, que ao realizar o manejo incorreto, provocam riscos e impactos ambientais (SHARMA; JAIN, 2020). Incontestavelmente, a cada ano, a sociedade produz cerca de 34 milhões de toneladas de resíduos plásticos, reciclando apenas 7%, o restante é descartado em aterros sanitários e oceanos (PATHAK; SNEHA; MATHEW, 2014).

A fim de preservar o meio ambiente algumas ações devem ser tomadas, uma oportunidade é a aplicação de um modelo circular (SCHYNS; SHAVER, 2021). A Economia Circular é um modelo que visa alcançar a sustentabilidade econômica, e para isso adota algumas estratégias, como a circulação de recursos, conscientização pública e privada, utilização de matérias-primas renováveis e biodegradáveis, e melhoria de design no produto (CIVANCIK-USLU et al., 2019; SAMAK et al., 2020; SCHYNS; SHAVER, 2021).

As aplicações das estratégias da EC dentro de indústrias variam de acordo com a necessidade de cada empresa. Propostas para ter uma produção mais limpa como projetar o design levando em consideração as necessidades de reutilização, reparo e reciclagem, devem ser aplicadas para ter um setor de plástico mais sustentável (PIONTEK, 2019)

Nos últimos anos, a Economia Circular vem sendo explorada como uma alternativa mais sustentável para um sistema econômico (SHIBAO, 2020). Conceitos como economia verde, bioeconomia, inteligência artificial são implementados na Economia Circular para atingir objetivos econômicos, ambientais e sociais (ABAD-SEGURA, BATLLES-DELAFUENTE, et al., 2021).

De acordo com o relatório “New Plastics Economy” lançado pelo Fórum Econômico Mundial (2016), há três grandes princípios para implementação da Economia Circular para os plásticos: (1) desenvolver uma economia mais efetiva que estimule o reuso, reciclagem após o consumo dos plásticos; (2) Minimizar o descarte de plásticos no meio ambiente, evitando a poluição de recursos naturais e melhorar o fechamento do ciclo deste material; e (3) explorar novas fontes renováveis para produção do plástico, podendo o desassociar de matéria-prima fóssil. Ainda, considera-se três estratégias para a transição da Economia Circular, onde 30% dos plásticos devem passar por um processo de redesign inovador, 20% dos materiais devem assegurar o seu reuso circular e 50% devem ser reciclados e reaproveitados em um sistema (WORLD ECONOMIC FORUM, 2017).

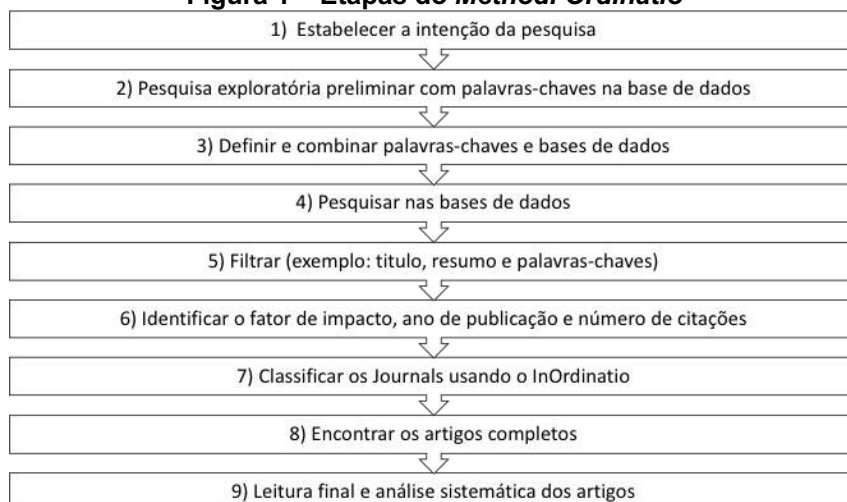
### **3. Materiais e métodos**

#### **3.1. Definição de Parâmetros da Metodologia Proposta**

Esta pesquisa empregou o método de revisão sistemática *Methodi Ordinatio* (PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2015) a fim de selecionar artigos relevantes sobre aplicações da Economia Circular em indústrias que utilizam plásticos como insumos. Este método utiliza nove etapas que são demonstradas na Figura 1.

As 3 primeiras etapas do *Methodi Ordinatio* correspondem em estabelecer a intenção da pesquisa e realizar uma busca exploratória preliminar em bases de dados com as palavras-chaves, e por fim definir e combinar os parâmetros de investigação. Neste estudo as palavras-chaves definidas para pesquisa inicial incluíram: “Circular Economy”, “Plastic Industry” e “Application”. Com isso, na quarta etapa foram utilizadas as três principais bases de dados para essa busca: Science Direct (2021), Scopus (2021) e Web of Science (2021), sendo considerado um limite atemporal dos trabalhos já publicados em todo o tempo de contagem para melhores respostas. O resultado da combinação dos três bases de dados pode ser visto detalhadamente na Tabela 1.

**Figura 1 – Etapas do *Methodi Ordinatio***



Fonte: Pagani; Kovalski; Resende (2015)

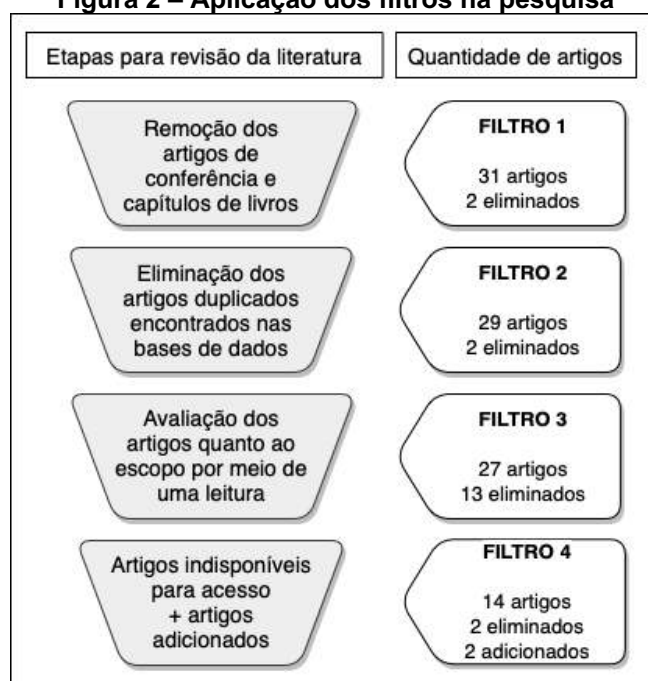
**Tabela 1 – Resultado das combinações de palavras-chaves com as bases de dados**

Combinação de palavras-chaves	Science Direct	Scopus	Web of Science	Total
"Circular Economy" AND "Plastic Industry" AND "Application"	28 resultados	3 resultados	0 resultados	31

Fonte: Autoria Própria (2021)

Como resultado das buscas foi encontrado um total de 31 resultados nas três bases de dados, sendo 28 na Science Direct, 3 na Scopus e zero resultados na Web of Science. Após a seleção inicial dos artigos, aplicou-se a etapa 5 que recorre a aplicação do filtro para localizar trabalhos mais relevantes, os números encontrados são mostrados na Figura 2.

**Figura 2 – Aplicação dos filtros na pesquisa**



Fonte: Autoria Própria (2021)

Os procedimentos empregados nesse trabalho se dividiram em quatro filtros. No primeiro, considerou-se a remoção dos resultados que não correspondem a artigos e revisão como por exemplo: conferências, capítulo de livros e outros formatos de publicação, pois estes possuem métricas distintas de classificação. Com os 29 artigos restantes, o segundo filtro

aplicado a remoção de documentos duplicados em diferentes bases de dados, com isso utilizou-se o aplicativo Mendeley® para esta análise.

Em seguida, no terceiro filtro foi considerado a relevância do assunto, analisando o título, resumo e conteúdo dos 27 artigos restantes, possibilitando encontrar a aderência com o tema e objetivos deste trabalho. Já no quarto e último filtro aplicado, foi necessário identificar a disponibilidade dos 14 artigos restantes para acesso aberto, no qual fez-se necessário a eliminação de mais dois artigos por não serem encontrados, assim, foi aplicado a técnica de snowballing para identificação de mais dois artigos relevantes para o tema e que pudessem suprir a necessidade dos artigos não encontrados.

Além disso, foi aplicado na etapa 6 a identificação do fator de impacto dos *Journals*, ano de publicação e número de citações dos 14 artigos compostos no portfólio para a execução da etapa 7. Nessa etapa, aplicou-se uma equação para ranquear os *papers* selecionados, o *InOrdinatio (InOrdinatio)*, apresentado na Equação 1 (PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2015). O cálculo leva em consideração os principais fatores científicos, como o fator de impacto da revista que o artigo foi publicado, número de citações e ano de publicação (PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2015).

$$InOrdinatio = (IF/1000) + \sum CI + \alpha \times [10 - (Ano de Pesquisa - Ano de Publicação)] \quad (1)$$

Neste caso, IF é o fator de impacto da revista onde o artigo está publicado;  $\sum CI$  é o número de vezes que artigo foi citado;  $\alpha$  (alfa) é um fator de ponderação que varia de 1 a 10 de acordo com o fator de relevância e atualidade do tema, que é atribuído pelo pesquisador; Por último, o Ano de Pesquisa é um ano em que a pesquisa foi desenvolvido e Ano de Publicação é o ano que o artigo foi publicado na base de dados (PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2015).

Neste trabalho o  $\alpha$  foi definido com o valor 5, visto que o assunto tem baixa relevância com o ano presente. Ao classificar a relevância dos artigos através da equação *InOrdinatio* foi possível prosseguir para a etapa 8 e 9, na qual consiste em encontrar os artigos completos e prosseguir para a última etapa do *Methodi Ordinatio*, leitura final dos artigos e revisão sistemática dos resultados.

### 3.2. Análise Bibliométrica

Essa pesquisa realizou uma análise bibliométrica descritiva com intuito de aprofundar os dados encontrados. A bibliometria é um recurso utilizado para quantificar o progresso da ciência e de pesquisas científicas (HISHAM A. MADDAH, 2016). Nessa análise a bibliometria foi utilizada para estabelecer indicadores e compreender o estado de conhecimento e desenvolvimento de estudos relevantes sobre como as indústrias têm aplicado a Economia Circular para os insumos plásticos.

Considerou-se o número e variações de pesquisas publicadas em diversos países, instituições e laboratórios, autores que investem nas tendências circulares no plástico, quantidades de artigos publicadas nos últimos anos, áreas do conhecimento, palavras chaves que se destacam na pesquisa e os *Journals* que possuem mais publicações.

### 3.3. Análise da Literatura

Com os artigos selecionados e classificados, foi construído uma nova tabela utilizando o Microsoft Excel®, onde houve a separação de 12 colunas para analisar os seguintes temas: Ranking InOrdinario, título, ano, objetivos, problemas, setor estudado, método, plásticos aplicados, aplicações da Economia Circular, solução proposta, limitações e sugestão para futuros trabalhos.

A leitura dos quatorze artigos foi realizada de forma sistemática para efetuar as respectivas análises propostas neste estudo. Após o preenchimento da tabela, foi ponderado quais

eram as aplicações realizadas nas indústrias que utilizavam o plástico e empregavam o conceito de Economia Circular.

## 4. Resultados

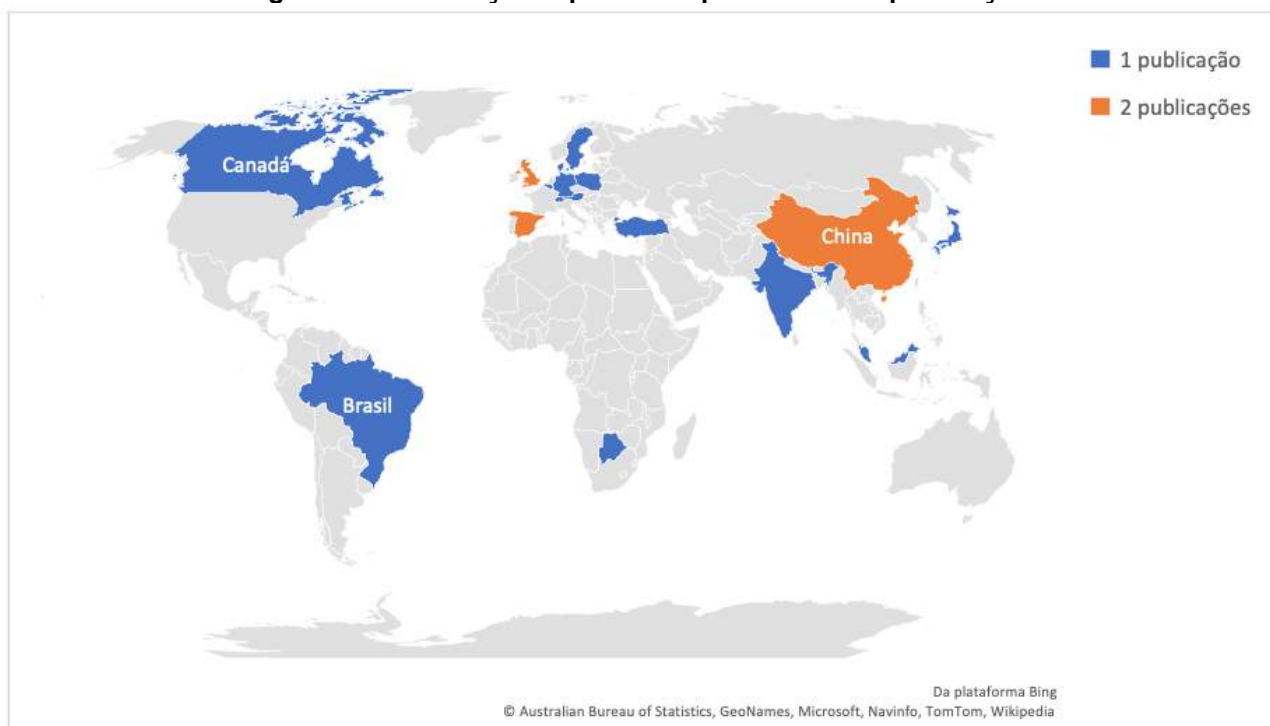
### 4.1. Revisão Bibliométrica

O portfólio final foi composto pelos 14 artigos selecionados e classificados pelo índice InOrdinatio, conforme apresentados no Apêndice I (final do artigo). A partir da classificação foi realizado as análises bibliométricas, sendo a primeira delas a distribuição ao longo dos anos, em seguida a distribuição espacial, área de pesquisa, *Journals* e palavras-chaves.

Nota-se que há uma restrição de aplicações de conceitos da Economia Circular com o plástico e as palavras-chaves definidas começaram a se expandir recentemente. O primeiro artigo do portfólio foi publicado no ano de 2018, passando por um crescimento em 2019 e 2020 que foi o ano que houve um maior número de publicações deste tema, totalizando 6 artigos. No último ano, até a presente data (10 de maio de 2021), obteve-se 3 artigos publicados, contudo este número ainda deverá aumentar até o final do ano de 2021.

No geral, a aplicação de estratégias da Economia Circular começou a ser destacada em diversos países mesmo possuindo um escasso número de publicação em cada um deles, como é demonstrado na Figura 3. Nota-se que a União Europeia e a China são um dos grandes promissores de estratégias da Economia Circular, com a presença de planos estratégicos em metas governamentais para as próximas décadas.

**Figura 3 – Distribuição espacial do quantitativo de publicações**



**Fonte: Autoria Própria (2021)**

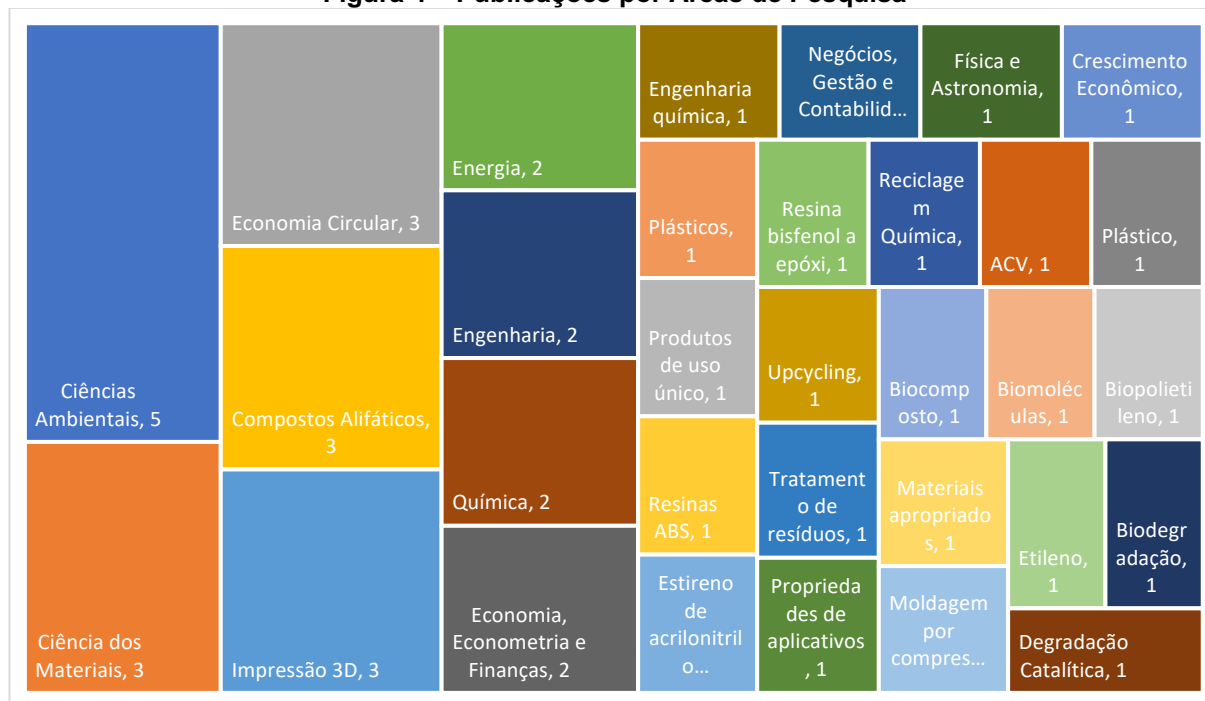
Encontrou-se um total de 18 países de origem das publicações do portfólio, entre eles, Reino Unido, Espanha e China com o maior número de publicações (2 publicações), seguidos por Áustria, Bélgica, Botsuana, Brasil, Canadá, Dinamarca, Alemanha, Índia, Japão, Malásia, Polónia, Cingapura, Suécia, Suíça e Turquia, com uma publicação cada.

A presença de pesquisas em diversos lugares do planeta enfatiza a ideia de que a problemática causada pela excessiva geração de resíduos plásticos tem resultado impactos ambientais em diferentes locais. Há uma grande preocupação em diversos países no

desenvolvimento de novas tecnologias e produtos plásticos mais sustentáveis, no qual possam causar menos impactos à saúde humana e ao meio ambiente.

Além dos países encontrados, pode-se destacar as principais áreas de publicações desses artigos, assim, foi extraído suas áreas de pesquisas de acordo com a concentração em termos científicos de inovação, conforme mostrado na Figura 4.

**Figura 4 – Publicações por Áreas de Pesquisa**



**Fonte: Autoria Própria (2021)**

As áreas de maior impacto consistem em: Ciências Ambientais (5), Ciência dos Materiais (3), Economia Circular (3), Compostos Alifáticos (3), Impressão 3D (3), Energia (2), Engenharia (2), Química (2), Economia, Econometria e Finanças (2) e algumas outras áreas apontadas no gráfico da Figura 4, com apenas um resultado encontrado.

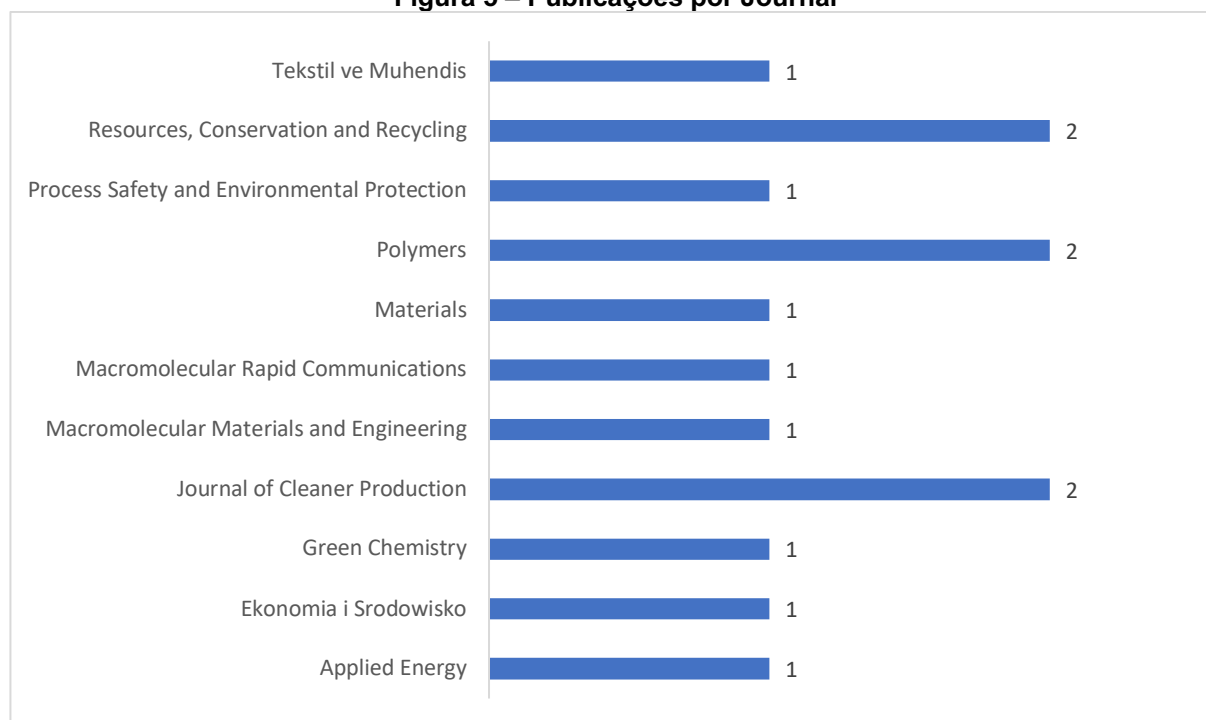
Essas áreas do conhecimento apresentadas acima vão de encontro com as estratégias da Economia Circular nesse setor, no qual buscam uma maior integração entre a o consumo e o meio ambiente, novas tecnologias de materiais e inovações de produtos, processos como a impressão 3D, engenharia de produto, processos químicos, redução do consumo de energia, entre outras áreas.

Outra análise bibliométrica realizada foi o levantamento dos Jornais com maior quantitativo de publicações sobre o tema dos artigos apresentados no portfólio. Levando em consideração as diversas áreas de publicação e abrangência temática, identificou-se 11 revistas presentes nos 14 artigos do portfólio, conforme apresentado na Figura 5.

As revistas com maior destaque foram: *Resources, Conservation and Recycling; Polymers; e Journal of Cleaner Production*, com 2 publicações em cada. A área de publicação dessas três revistas está diretamente relacionada com essa temática, direcionando estudos Economia Circular, reaproveitamento de recursos, reciclagem e processos inovadores relacionado com os plásticos. Já as demais revistas apontadas na Figura 6, apresentaram uma publicação apenas.



**Figura 5 – Publicações por Journal**



**Fonte: Autoria Própria (2021)**

Por último, as palavras-chaves dos artigos analisados foram configuradas em uma nuvem de palavras, tendo como objetivo a identificação de outras áreas de pesquisas relacionadas com os artigos encontrados, possibilitando a identificação de novos campos de pesquisas que ainda são pouco explorados. As palavras-chaves dos artigos podem ser visualizadas na Figura 6 de acordo com sua frequência e relevância.

**Figura 6 – Nuvem de palavras-chaves da pesquisa**



**Fonte: Autoria Própria (2021)**

As palavras-chaves que mais evidenciaram nos artigos foram: ciências ambientais (3), engenharia (3), ciência dos materiais (3), plásticos (2), biodegradável (2), bioplásticos (2),



economia circular (2), embalagem (2), química (2), entre outras com apenas um resultado conforme mostrado na Figura 7.

Tais palavras-chaves apontam uma grande relevância do tema em buscas de novos processos e novas composições de materiais plásticos, na busca de produtos biodegradáveis de base biológica e menos poluidores ao meio ambiente. Com isso, há uma grande influência no desenvolvimento de novos processos químicos, reengenharia, ciências dos materiais e embalagens.

## **4.2. Revisão da Literatura**

Entre todas as publicações ponderadas, buscou-se encontrar em cada artigo, conceitos que englobam a Economia Circular dentro de empresas que utilizam o plástico como matéria-prima. As estratégias encontradas foram classificadas em três categorias que demonstram de forma mais abrangente como as indústrias de plásticos estão aplicando a Economia Circular neste setor.

### **4.2.1. Conteúdo de base biológica e Produtos biodegradáveis**

Aproximadamente 90% da demanda total de plásticos é contabilizada por cinco diferentes plásticos de commodity, são eles: polipropileno, polietileno, poliestireno e PVC e PET, que são produzidos por fontes não renováveis (HISHAM A. MADDAH, 2016).

Já os biopolímeros são polímeros produzidos por organismos vivos ou derivados de biomassa, quando o ciclo de vida do produto acaba, eles se degradam por um período curto sem causar problemas ambientais (ERIKSEN et al., 2019). A biodegradação é um processo de desfragmentação realizado por fatores como: calor, umidade e enzimas microbianas, que transformam substâncias moleculares longas em compostos menores (NCUBE et al., 2020).

Os biopolímeros imitam as propriedades dos polímeros convencionais e podem ser usados em vários métodos, incluindo fundição de solução, mistura de fusão, prensagem térmica e extrusão. Os biopolímeros usados para substituir os plásticos petroquímicos são chamados de bioplásticos (NCUBE et al., 2020)

A indústria de embalagens de alimentos busca cada vez mais insumos biodegradáveis que sejam leves, com intuito de reduzir a quantidade dos materiais, o desperdício e também os custos para a realização do transporte.

Os autores Ncube et al. (2020) relatam estudos que utilizam bioplásticos para a produção de embalagens alimentícias biodegradáveis. O plástico de poliácido láctico (PLA) é um dos principais plásticos biodegradáveis com base em polímeros biológicos, esse é usado para embalagens flexíveis e rígidas.

Na aplicação de embalagens, o PLA tem vantagens de participar do processo de compostagem junto com resíduos orgânicos, mesmo que a degradação seja mais lenta. Ou seja, embalagens contaminadas com alimentos podem ser enviadas para compostagem sem a necessidade de limpeza. Recentemente, a companhia Food and Drug Administration (FDA) aprovou o monômero de ácido láctico (LA), insumo usado para a produção de PLA, como um ingrediente alimentar seguro e fez do PLA um polímero verde com baixa toxicidade (NCUBE et al., 2020).

Outro plástico analisado foi as resinas de PVC, essas são aplicadas frequentemente no ramo de plastificantes e cargas minerais, produtos como filmes laminados, tubos flexíveis e rígidos, entre outros. Os resíduos de PVC são 100% recicláveis, porém em grandes áreas urbanas, apenas 15-20% dos resíduos são coletados de forma separada, o maior volume é despejado em aterros públicos ou distribuído no meio ambiente (CORREA; DE SANTI; LECLERC, 2019).

No estudo de Correa; De Santi; Leclerc (2019), foi usado o PVC verde a partir resíduos de um tubo de PVC. Assim, para a formulação do PVC verde foi utilizado ingredientes básicos, como: PVC reciclado, amido regular, glicerol, estabilizador térmico, óleos de soja, lubrificante e plastificante.

O processo passou por uma sequência de etapas, que inclui, a caracterização do amido, teste da força mecânica, perda de massa a 100 °C, teste de absorção de umidade, calor de deflexão térmica sob carga (HDT), rigidez dielétrica, e implicações da abordagem do PVC verde (CORREA; DE SANTI; LECLERC, 2019).

O conceito verde para um composto PVC é uma aplicação de modelo da Economia Circular e está em tendência no mercado, visto que faz uso de materiais biodegradáveis e utilizam biotecnologias. Isso promove benefícios ambientais como a redução das emissões de gases do efeito estufa e da utilização da ideia de um ciclo fechado, onde os resíduos são eliminados e depois retornam para a cadeia como insumo (CORREA; DE SANTI; LECLERC, 2019).

#### **4.2.2. Impressoras 3D**

A invenção da impressão 3D forneceu ferramentas inovadoras para a indústria de impressão. Essa ferramenta, que também é conhecida como técnica de manufatura aditiva, permite a construção de estruturas geométricas complexas, que variam de uma escala micro à macro, e são desenhadas através de um computador. A impressão 3D possui algumas vantagens na utilização do material plástico, além de realizar o design de forma ágil, a produção ocorre de forma fácil e com baixo custo (ZHU et al., 2021).

A impressão 3D é considerada uma prática da Economia Circular, utilizando-se os princípios dos 6Rs como citado anteriormente, reduz o desperdício e facilita a reciclagem química e física dos resíduos quando aplicada aos materiais plásticos. Com a reciclagem, os resíduos plásticos impressos são degradados em moléculas úteis, podendo assim, serem reutilizadas e tornam-se inofensivas ao meio ambiente.

Os autores Zhu et al. (2021), realizaram uma revisão sobre a impressão 3D em materiais à base de polímeros biodegradáveis, como o PLA e policaprolactona (PCL). O estudo cita que esses polímeros são mais utilizados para aplicação de clínicas, especialmente engenharia de tecidos e reparo ósseo. Um exemplo citado foi a fabricação feita pela empresa Isun3D Inc., essa criou termoplásticos criogênicos, produzidos através da impressão 3D, que servem como suporte de reabilitação e dispositivos ortopédicos, assim que finalizar seu ciclo, podem ser completamente degradados no solo em período de 8 a 16 meses.

No cotidiano, alguns plásticos são descartados mesmo quando são utilizados apenas uma vez e não estão contaminados, quando os mesmos são reciclados, eles se tornam aptos a serem reutilizados como matéria prima para a impressão 3D. Resíduos plásticos ABS, podem ser utilizados como insumo na impressão e se caracterizam por serem matérias com alta resistência, baixo custo e elevada rigidez. E os resíduos de plásticos PET, quando classificados como material de impressão, são considerados eficientes por possuírem melhor desempenho comparado ao PET puro (ZHU et al., 2021).

Existem várias limitações atuais referente a tecnologia de impressão 3D como máquinas, ambiente, materiais e outros. Porém, é uma das tecnologias mais promissoras no futuro, além dos benefícios citados acima, os materiais impressos podem ser tratados por métodos de reciclagem física como a trituração, o reprocessamento após a fusão e de-gradação de temperatura.

#### **4.2.3. Processos de Reciclagem**

A extrusão é o método mais clássico na reciclagem de indústrias mecânicas, ela utiliza material granulado a partir de resíduos plásticos. Além disso, possui alguns benefícios

como: baixo custo, não há necessidade de solventes e são aplicados para diversos polímeros (SCHYNS; SHAVER, 2021).

Outro meio de reciclagem é através do upcycling, cujo processo é recuperar os re-síduos plásticos. O objetivo do método é melhorar a qualidade do material, ou seja, adequar o produto para ser utilizado novamente no mesma aplicação do produto original. Portanto, deve prevalecer a reciclagem de resíduos plásticos sobre outras opções de tratamento, garantindo que o mesmo passe por um número máximo de ciclos (HISHAM A. MADDAH, 2016).

No artigo analisado, o autor Hisham A. Maddah (2016), teve como objetivo o reaproveitamento de sucata plástica. Foi utilizada a tecnologia de upcycling para remover a tinta da superfície de plásticos antes do processo de extrusão. A tinta é removida durante o estágio de lavagem, em que alguns agentes, como detergentes, são usados em solução a base de água em determinada temperatura.

Já o processo Downcycling é um processo de recuperação de resíduos plásticos que resulta em uma redução da qualidade do material, seja na modificações em propriedades físicas, nas cores escuras, odores ou outras. A degradação do plástico leva uma redução no potencial, e pode ser destinados a produtos de baixo valor agregado como sacos de lixo, dutos e outros, tornando assim um ciclo fechado para este material (HISHAM A. MADDAH, 2016)

## **5. Considerações finais**

Através da aplicação do método *Methodi Ordinatio*, foi possível encontrar artigos referentes a aplicação da Economia Circular em indústrias que utilizam o plástico como matéria prima, e assim, classificar a relevância dos mesmos através de índices descritivos como citações, impactos de periódicos, ano de publicação e outros. Ao aplicar o método, determinou-se 14 artigos para serem revisados para compor o portfólio bibliográfico deste estudo.

A fim de quantificar a utilização deste tema, realizou-se uma análise bibliométrica. Percebeu-se que o maior número de publicações foi ano de 2020 (6 artigos), demonstrando a relevância e atualidade do tema. Além disso, há uma diversidade nos países que possuem estudos sobre os plásticos, totalizando 12 países diferentes, entre eles Reino Unido, Espanha e China com os maiores número de publicação. As áreas que mais investem consistem no meio ambiente, energia e engenharia, o que relaciona com as palavras-chaves mais encontradas, como: ciências do ambiente, engenharia e ciências dos materiais.

Para a revisão da literatura, através das nove etapas do método *Ordinatio*, foi possível explorar as aplicações das estratégias da Economia Circular em indústrias que utilizam plásticos, e assim responder à pergunta proposta no trabalho. A partir das análises, encontrou três aplicações pertinentes de estratégias da Economia Circular, entre elas a utilização de produtos biodegradáveis, implementação de novos designs através de impressão 3D, eliminação de resíduos, ideias baseadas no cradle to cradle e na aplicação de diferentes métodos de reciclagem.

## **Agradecimentos**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Financiado pelo CNPq 312285/2019-1) e Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

## **Referências**

ABAD-SEGURA, E., BATLLES-DELAFUENTE, A., GONZÁLEZ-ZAMAR, M. D., et al. Implications for sustainability of the joint application of bioeconomy and circular economy:

A worldwide trend study, **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 13, p. 1–24, 2021. DOI: 10.3390/su13137182.

ÇELİK, M.; KILIÇ, E. Usage of Plant- Based Biopolyethylene in Biocomposite Production and Polymer Blends. **Journal of Textiles and Engineer**, v. 27, n. 119, p. 197–215, 2020b.

CIVANCIK-USLU, D. et al. Improving the production chain with LCA and eco-design: application to cosmetic packaging. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 151, p. 104475, 2019.

CORREA, C. A.; DE SANTI, C. R.; LECLERC, A. Green-PVC with full recycled industrial waste and renewably sourced content. **Journal of Cleaner Production**, v. 229, p. 1397–1411, 2019.

ERIKSEN, M. K. et al. Quality Assessment and Circularity Potential of Recovery Systems for Household Plastic Waste. **Journal of Industrial Ecology**, v. 23, n. 1, p. 156–168, 2019.

HISHAM A. MADDAH. Polypropylene as a Promising Plastic: A Review. **American Journal of Polymer Science**, n. January, 2016.

HUNDERTMARK, T. et al. DECEMBER 2018 • MCKINSEY ON CHEMICALS **How plastics-waste recycling could transform the chemical industry**. n. December, 2018.

NCUBE, L. K. et al. Environmental impact of food packaging materials: A review of contemporary development from conventional plastics to polylactic acid based materials. **Materials**, v. 13, n. 21, p. 1–24, 2020.

NUSPLIGER, E. S.; VREDEVELD, R.; MARTIN, R. Plastics in the Environment. **American Biology Teacher**, v. 35, n. 4, p. 230–230, 1973.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v. 105, n. 3, p. 2109–2135, 2015.

PATHAK, S.; SNEHA, C.; MATHEW, B. B. Bioplastics: Its Timeline Based Scenario & Challenges. **Journal of Polymer and Biopolymer Physics Chemistry**, v. 2, n. 4, p. 84–90, 2014.

PIONTEK, W. The circular plastics economy and the instruments to implement it. **Ekonomia i Srodowisko**, n. 70, p. 18–33, 2019.

SAMAK, N. A. et al. Recent advances in biocatalysts engineering for polyethylene terephthalate plastic waste green recycling. **Environment International**, v. 145, p. 106144, 2020.

SCHYNS, Z. O. G.; SHAVER, M. P. Mechanical Recycling of Packaging Plastics: A Review. **Macromolecular Rapid Communications**, v. 42, n. 3, 2021.

SHARMA, B.; JAIN, P. Deciphering the advances in bioaugmentation of plastic wastes. **Journal of Cleaner Production**, v. 275, 2020.

SHIBAO, F. Y. Economia circular: conceitos e aplicação. n. February, 2020.

ZHU, C. et al. Realization of circular economy of 3D printed plastics: A review. **Polymers**, v. 13, n. 5, p. 1–16, 2021.

WORLD ECONOMIC FORUM. **The New Plastics Economy: Catalysing Action**, World Economic Forum, n. January, 2017.

## Apêndice I

**Quadro 1. Aplicação dos filtros na pesquisa**

Nº	Título	Autor	Year	InOrdinatio
1	Stepwise pyrolysis of mixed plastics and paper for separation of oxygenated and hydrocarbon condensates	Sophonrat, N., Sandström, L., Zaini, I.N. and Yang, W.	2018	92,01
2	How Do Bioplastics and Fossil-Based Plastics Play in a Circular Economy?	Kawashima, N., Yagi, T. and Kojima, K.	2019	75,00
3	Improving the production chain with LCA and eco-design: application to cosmetic packaging	Civancik-Uslu, D., Puig, R., Voigt, S., Walter, D. and Fullana-i-Palmer, P.	2019	70,01
4	Poly (glycolic acid) (PGA): A versatile building block expanding high performance and sustainable bioplastic applications	Samantaray, P.K., Little, A., Haddleton, D.M., McNally, T., Tan, B., Sun, Z., Huang, W., Ji, Y. and Wan, C.	2020	70,01
5	Green-PVC with full recycled industrial waste and renewably sourced content	Correa, C.A., de Santi, C.R. and Leclerc, A.	2019	69,01
6	Environmental impact of food packaging materials: A review of contemporary development from conventional plastics to polylactic acid-based materials	Ncube, L.K., Ude, A.U., Ogunmuyiwa, E.N., Zulkifli, R. and Beas, I.N.	2020	68,00
7	Mechanical Recycling of Packaging Plastics: A Review	Schyns, Z.O.G. and Shaver, M.P.	2021	67,00
8	The circular plastics economy and the instruments to implement it	Piontek, W.	2019	61,00
9	Screening of common synthetic polymers for depolymerization by subcritical hydrothermal liquefaction	dos Passos, J.S., Glasius, M. and Biller, P.	2020	59,00
10	Upcycling of printed plastic films: LCA analysis and effects on the circular economy	Horodytska, O., Kiritsis, D. and Fullana, A.	2020	58,01
11	Quality assessment of mixed plastic flakes from Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) by spectroscopic techniques	Wagner, F., Peeters, J.R., Ramon, H., De Keyzer, J., Duflo, J.R. and Dewulf, W.	2020	56,01
12	Bitkisel Kaynaklı Biyopolietilenin Biyokompozit Üretiminde Ve Polimer Karışımlarında Kullanımı	ÇELİK, M. and Kiliç, E.	2020	55,00
13	Processability of different polymer fractions recovered from mixed wastes and determination of material properties for recycling	Möllnitz, S., Feuchter, M., Duretek, I., Schmidt, G., Pomberger, R. and Sarc, R.	2021	51,00
14	Realization of circular economy of 3D printed plastics: A review	Zhu, C., Li, T., Mohideen, M.M., Hu, P., Gupta, R., Ramakrishna, S. and Liu, Y.	2021	50,00

Fonte: Autoria Própria