

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

MARILIA GONÇALVES SILVA

**O DESENVOLVIMENTO DA ECONOMIA CIRCULAR NO CONTEXTO DA
INDÚSTRIA 4.0 E SUAS TECNOLOGIAS: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO**

**UBERLÂNDIA – MG
2022**

MARILIA GONÇALVES SILVA

**O DESENVOLVIMENTO DA ECONOMIA CIRCULAR NO CONTEXTO DA
INDUSTRIA 4.0 E SUAS TECNOLOGIAS: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Gestão da Informação, da Universidade Federal de Uberlândia, como exigência parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador Prof. Dr. Márcio Lopes Pimenta.

UBERLÂNDIA - MG
2022

MARILIA GONÇALVES SILVA

**O DESENVOLVIMENTO DA ECONOMIA CIRCULAR NO CONTEXTO DA
INDUSTRIA 4.0 E SUAS TECNOLOGIAS: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Gestão da Informação, da Universidade Federal de Uberlândia, como exigência parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador Prof. Dr. Márcio Lopes Pimenta.

Aprovado em: ____/____/____.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Márcio Lopes Pimenta, UFU/MG

Darly Fernando Andrade, UFU/MG

Carla Bonato Marcolin, UFU/MG

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura sobre o desenvolvimento da economia circular e sua relação no contexto das tecnologias da Indústria 4.0. A análise permitiu organizar os resultados da pesquisa, em três temáticas apresentadas na literatura em associação ao assunto proposto desta pesquisa sendo eles: Conexão entre indústria 4.0 e economia circular, Alinhamento entre Economia circular e Indústria 4.0 para sustentabilidade na cadeia de suprimentos e Indústria 4.0 e suas tecnologias nas áreas de atuação abrangidas pela Economia Circular.

Sendo assim, as tecnologias que englobam a Indústria 4.0 contribuem de forma efetiva nas várias práticas da Economia Circular, desde o desenvolvimento de produtos circulares ao sensoriamento e monitoramento do ciclo de vida dos produtos, com o intuito de prolongar a vida útil e otimizar as técnicas de renovação do produto.

Palavras-chave: [Economia Circular] [Indústria 4.0]

ABSTRACT

This work aims to carry out a systematic review of the literature on the development of the circular economy and its relationship in the context of Industry 4.0 technologies. The analysis allowed to organize the research results, in three themes presented in the literature in association with the proposed subject of this research, namely: connection between Industry 4.0 and Economy, Application of the circular economy for the transformation of the Supply Chain about Industry 4.0 and Collaboration Industry 4.0 in the introduction of Circular Economy and sustainable production.

Thus, the technologies that encompass Industry 4.0 effectively contribute to the various practices of the Circular Economy, from the development of circular products to the sensing and monitoring of the life cycle of the products, in order to extend the useful life and optimize the techniques product renewal.

Keywords: [Circular Economy] [Industry 4.0]

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. METODOLOGIA	9
3. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	11
4. DISCUSSÃO.....	14
5. CONCLUSÃO	16
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16

1. INTRODUÇÃO

O conceito de Economia Circular (EC) está intimamente relacionado a necessidade de propalar e consolidar condutas dirigidas a ideologias de desenvolvimento sustentável e consciência em relação a mudanças climáticas no âmbito de ampliação e produção de bens. Inúmeras instituições governamentais e corporativas vêm promovendo a Economia Circular (EC), que teve sua origem na União Europeia e atualmente está disseminada em todo mundo. Estrategicamente, o aumento da visibilidade da EC configura um avanço e pode vir a estimular transformações nos procedimentos de produção, concepção de novas indústrias, além de atração de capital para se fomentar (KORHONEN; HONKASALO; SEPPÄLÄ, 2018).

Nota-se, no mundo todo, um panorama alarmante no que tange a utilização desmedida de recursos minerais e demais insumos extraídos da natureza como matéria-prima para confecção de produtos. Diante disso, modelos de produção com princípios direcionados a sustentabilidade, se tornam cada vez mais necessários. Na EC, é fundamental o desenvolvimento assertivo de processos e planejamento de produtos, através de atuações que busquem preservar e prolongar a duração do que será produzido ou orientada a capacidade deste em percorrer sucessivos ciclos de vida (DEN HOLLANDER; BAKKER; HULTINK, 2017).

Considerando as suas variáveis concepções, a EC dispõe de aspectos típicos, sendo constantemente relacionada a utilização de fontes renováveis, fabricação sem resíduos, redução, reaproveitamento, reciclagem e regeneração de produtos e matérias primas (KIRCHHERR; REIKE; HEKKERT, 2017).

As inovações tecnológicas permitem a formação de um cenário mundial de alta performance, onde as “coisas” possuem uma espécie de inteligência, além de estarem interligadas entre si (LIU et al., 2017). O resultado disso é a centralização do mundo físico e virtual na figura de Sistemas ciberfísicos (*CyberPhysical Systems*, CPS). Isso representa a possibilidade de manipular artificios de rede, informações, artigos e indivíduos para constituição da “Internet das Coisas”.

As indústrias já sentem os impactos desse fenômeno, e todas essas metamorfoses tecnológicas podem ser caracterizadas como Indústria 4.0 ou quarta revolução industrial (KAGERMANN, 2013). A primeira Revolução Industrial se estabeleceu pela inclusão de máquinas de fabricação a vapor; a segunda se destaca, principalmente, pela utilização de eletricidade e fabricação de bens de forma concentrada, por meio da repartição de atividades; a terceira é fundamentada pelo uso de computadores, tecnologia da informação (TI) e automação dos métodos, equipamentos e serviços de produção (LIAO, 2017).

A Indústria 4.0 tem o intuito de proporcionar soluções inteligentes em diferentes âmbitos do cotidiano através do uso de tecnologias de ponta, é baseada na digitalização de processos, produtos e serviços (CNI, 2016a; COUTINHO, 2016). Essa definição é fundamentada na conjunção de variadas tecnologias revolucionárias, deslocando-se para um sistema manufatureiro perspicaz, preparado para incorporação do mundo físico da indústria convencional ao mundo digital (CNI, 2017).

Neste sentido, podemos considerar que a revolução denotada pela Indústria 4.0 institui conceitos não presenciados anteriormente, concebem modelos de negócios modernos e solucionam diversos obstáculos coletivos, conectando as coisas no interior e exterior de uma indústria (KANG et al, 2016).

Tecnologias como *Smart Manufacturing*, *Cloud Manufacturing*, *IoS (Internet of Services)* e *IoT (Internet of Things)*, integram a Indústria 4.0 e fundamentam um sistema perspicaz, onde suas ferramentas são empregadas para uma produção ágil, e os métodos e informações são atingidos em tempo real. Tais inteligências são baseadas na intercomunicação entre *softwares* ciberfísicos, empregando programação, sensores, inteligência artificial, medidas engenhosas de aplicação de energia, interação entre máquinas, automação e indivíduos (LIU et al., 2017).

Cyber-Physical Systems (CPS) são sistemas de cooperação de organizações computacionais que estão em forte acoplamento com o mundo físico. Durante o tempo em que, seus processos estão em execução, esses contribuem e usufruem, ao mesmo tempo, de infraestrutura de acesso e manipulação de dados, disponíveis na rede. No cenário industrial, o CPS é uma inteligência indispensável para o desempenho do *Smart Manufacturing* e está sendo analisado em iminente ligação com tecnologias como *IoT*, *big data* e nuvem (KANG et al, 2016)

No âmbito da Economia Circular, tais tecnologias podem ser empregadas no intuito de contribuir para ruptura de barreiras e estimular a adoção da EC, seja no processo de aquisição de matéria prima, na produção, ordenamento, acompanhamento do consumo, reaproveitamento de resíduos e bens descartados em alinhamento com a mudança dos procedimentos produtivos apoiados na Economia Linear para Economia Circular (CNI, 2017).

Considerada um elemento focal e atributo essencial da Indústria 4.0 a *Smart Manufacturing* integra de forma vertical, produtos e máquinas, estimulando a fabricação de forma colaborativa. Dispositivos, aparelhos e equipamentos são munidos com detectores, comeditos por sistemas e conectados à Internet (LIU et al., 2017). Desse modo, revela-se que

as tecnologias e softwares amparados na indústria ativa, são capazes de responder a eventos variáveis e complexos da área de manufatura em tempo real (DAVIS et al., 2015).

Os softwares da tecnologia da informação interligados entre todos os subsistemas, procedimentos internos e externos, objetos, clientes e rede de fornecedores, que comunicam entre si e se apoiam uns com os outros, são chamados de *Internet of Things (IoT)*. Essa tecnologia contribui de forma expressiva para a inclusão da EC, podemos citar como exemplo, o uso das etiquetas de reconhecimento via rádio frequência. As mesmas proporcionam amplo acompanhamento, contabilidade dos itens e até mesmo dos resíduos (MAVROPOULOS, 2015). O crescimento da Internet das Coisas em processos otimizados e assertivos concebe uma diminuição na utilização de matérias-primas e no dispêndio de energia, através de sistemas inteligentes que monitoram e ativam maquinários de forma que a atuação se dá apenas quando necessário, e na gestão perspicaz de estoques, onde os insumos e os produtos estão conectados sistemicamente (CNI, 2017).

Internet of Services (IoS) são atividades internas e interorganizacionais disponibilizadas e desfrutadas pelos membros da cadeia de valor e conduzidas pela *big data* e pela computação em nuvem (LIU et al., 2017). É possível afirmar que, a Indústria 4.0 se introduz tanto em IoT quanto em IoS, simbolizando sua aplicabilidade tanto na manufatura de produção quanto na de serviços, assim como se relaciona a diversas tecnologias inteligentes.

Extensamente utilizadas para ampliar a distribuição de dados dentro e fora da fronteira da organização, as tecnologias em nuvem (*Cloud Manufacturing*), aperfeiçoam a atuação dos sistemas com benefícios em celeridade e versatilidade, além de redução de despesas ao proporcionar *softwares* online (LIU et al., 2017).

Este trabalho possui como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura sobre o desenvolvimento da Economia Circular e sua relação no contexto das tecnologias da Indústria 4.0. Dessa forma, são observados a ênfase de artigos científicos e seus aspectos técnicos, seus objetivos, por meio das palavras chave: Economia Circular, Indústria 4.0, como um estudo bibliométrico. No próximo tópico, será apresentada a metodologia utilizada para a realização deste trabalho.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi baseada em uma revisão sistemática da literatura sobre as pesquisas na área da Economia Circular e sua relação no contexto das tecnologias da Indústria

4.0. Assim sendo, realizou-se uma busca com as seguintes palavras-chave: 1) “*circular economy*” e “*industry 4.0*”, com o booleano “*and*” (Tabela 1).

O lapso temporal considerado no processo de busca das palavras-chave foi de 5 anos (2018 a 2022), na base de dados internacional *Web of Science*, e o estudo inicial, estruturação, visualização e desenvolvimento dos mapas de redes bibliométricas dos dados foi realizado por meio do software *VOSViewer*.

As referências utilizadas para a produção dos mapas foram estabelecidas no seguinte formato: exposição da base de dados empregue nesta análise, o arranjo de palavras-chave como um fator fundamental no ponto de vista metodológico desta investigação, a quantidade de documentos retornados pela pesquisa no banco de dados internacional, conjuntamente com os elementos primários pelo *software* para a formação e construção de gráficos de redes bibliométricas.

Durante o processo de busca na base de dados *Web of Science*, foram encontrados 71 arquivos, realizou-se a filtragem apenas daqueles documentos que se encaixavam como Artigos e que foram publicados nos últimos 5 anos, totalizando 65 pesquisas. Considerando esse resultado, foi realizada ainda a avaliação da “força do link” entre os artigos, através de um mapa da rede bibliométrica de revisão sistemática da literatura, gerado pelo software *VosViewer*, os trabalhos que apresentaram baixa ligação entre si, foram descartados. Após aplicados os critérios de filtragem/seleção e exclusão, o resultado foi de 41 artigos.

Os itens representam o vínculo entre as expressões, buscadas por meio de palavras-chave neste estudo, através da base de dados, o resultado da investigação (documentos e suas quantidades) estão apresentados na tabela 1. Os “*links*” simbolizam a conexão entre as expressões examinadas. O número considerável de *links* alcançados entre os elementos “*circular economy*” e “*industry 4.0*” aponta que existe uma quantidade significativa de pesquisas interligando ambas temáticas (Tabela 1).

TABELA 1 - Resultado da co-ocorrência das palavras-chave utilizando o software *VosViewer*

Base de Dados	Palavras-chave	Itens	Cluster	Nº Links	Força geral do link	Nº de documentos analisados
Web of Science	“ <i>circular economy</i> ” “ <i>industry 4.0</i> ”	54	4	795	2040	65

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da pesquisa.

A força do *link* é estabelecida por valores numéricos, quanto mais elevado, maior a força do *link* representando, neste cenário, a quantidade de publicações em que existe a co-ocorrência

de duas expressões (ou palavras-chave) articuladas. Durante a geração do mapa de rede *VosViewer*, foi determinado o número 3 como o algarismo mínimo padrão de ocorrências de palavras-chave combinadas em um estudo, de modo que o peso de um item aponta sua relevância, um item com peso superior é classificado mais significativo do que um item com peso inferior.

Seguidamente foi efetuada a inspeção de citação dos escritores entre os trabalhos (Tabela 2). O mapa também foi constituído através do software *VosViewer*, e o número 2 foi escolhido como o número mínimo padrão de ocorrências de citações.

TABELA 2 - Resultado das citações utilizando o software *VosViewer*

Base de Dados	Palavras-chave	Itens	Cluster	Nº Links	Força geral do link	Nº de documentos analisados
Web of Science	"circular economy" "industry 4.0"	45	8	175	-	65

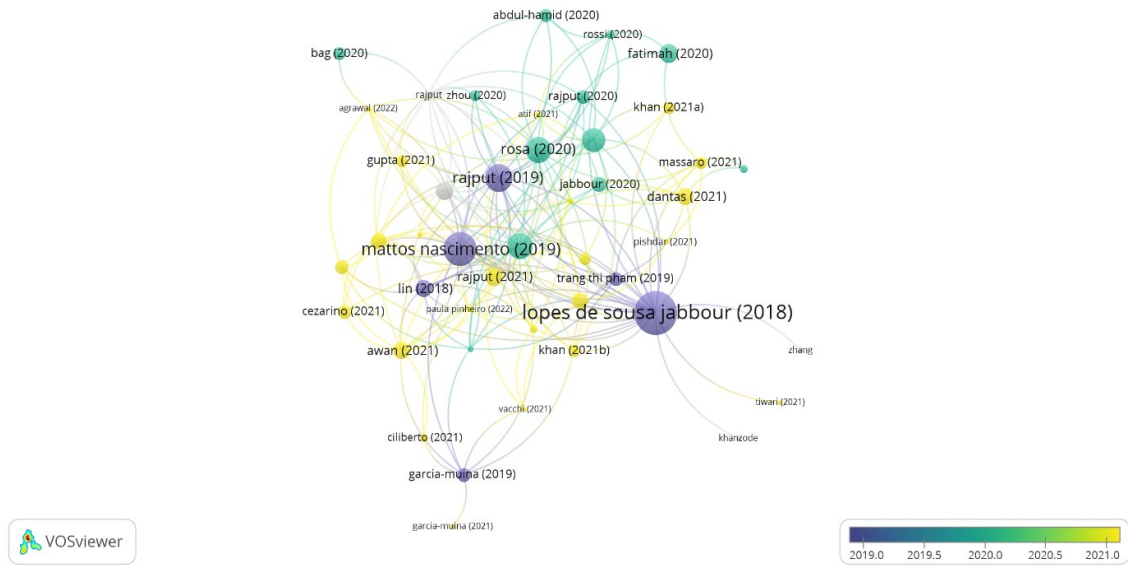
Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da pesquisa.

Foi realizada a inspeção de temática dos documentos e aplicação de critérios de seleção, afim de obter-se uma amostra de trabalhos com forte relação entre si. O processo de análise de conteúdo, se deu a partir da criação de uma planilha Excel, que foi preenchida com as seguintes categorias: Título, Autor, Ano, Objetivo e Link de Acesso dos artigos. Os objetivos e as contribuições diretamente relacionados a "circular economy" e "industry 4.0" foram discutidos posteriormente.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

O mapa de citações, desenhado através do software *VosViewer*, evidencia o crescimento gradativo de pesquisas relacionando as áreas, com destaque para os avanços consideráveis no período de 2020 a 2021. Com os resultados obtidos na tabela 2 e no mapa, podemos observar um vínculo significativo de citações entre os documentos, tal ocorrência pode ser explicada pela quantidade e tempo de concepção/publicação dos estudos. Sendo assim, é natural que os trabalhos mais antigos sejam os mais citados, como pode ser observado no mapa pelas cores mais fortes (Figura 1).

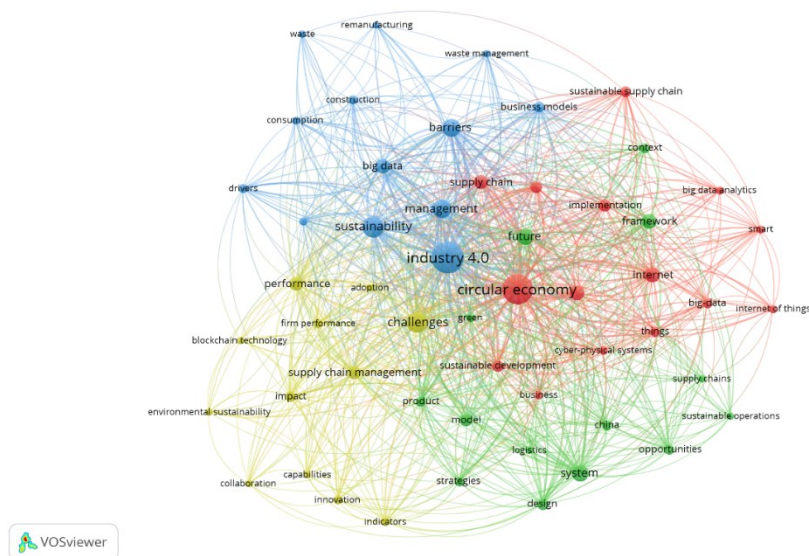
Figura 1 - Mapa de citações entre os artigos, base de dados Web of Science.



Fonte: Software Vosviewer (Baseado nos dados da pesquisa).

A Figura 2 retrata o resultado de co-ocorrência das palavras-chave, cada cor representa um cluster. Os itens com um peso maior são apresentados com maior evidência em relação aos com peso mais baixo, quanto mais elevado o peso do item mais amplo será o seu ícone e sua denotação no gráfico.

Figura 2 - Mapa de de co-ocorrência de palavras chave, base de dados Web of Science.



Fonte: Software Vosviewer (Baseado nos dados da pesquisa).

A partir da análise e leitura dos estudos, foi possível estruturar três segmentos de contextos, ligados ao principal objetivo de cada pesquisa.

Tabela 3 – Framework de Objetivos

Objetivos	Quantidade	Autores
Conexão entre Indústria 4.0 e Economia	8	Rajput e Singh (2021); Cezarino et al (2021); Romero et al (2021); Cwiklicki e Wojnarowska (2020); Chauhan, Sharma e Singh (2021); Massaro et al (2021); Atif et al (2021).
Alinhamento entre Economia circular e Indústria 4.0 para sustentabilidade na cadeia de suprimentos	10	Rajput e Singh (2019); Yu, Khan e Umar (2022); Dev, Shankar e Qaiser (2020); Di Maria, De Marchi e Galeazzo (2022); Agarwal, Tyagi e Garg (2022); Kazancoglu et al (2021); Kumar et al (2021); Agrawal et al (2022); Zhang et al (2021); Yadav et al (2020).
Indústria 4.0 e suas tecnologias nas áreas de atuação abrangidas pela Economia Circular	23	Laskurain-Iturbe et al (2021); Abdul-Hamid et al (2021); Awan, Sroufe e Shahbaz (2021); Jabbour et al (2018); Rosa et al (2020); Dantas et al (2021); Kumar, Singh e Kumar (2021); Kamble e Gunasekaran (2021); Khanzode, Sarma e Goswami (2021); Rossi, Bianchini e Guarnieri (2020); Rajput e Singh (2020); Abdul-Hamid et al (2020); Ciliberto et al (2021); Patyal et al (2022); Pinheiro et al (2022); Chauhan, Jakhar e Chauhan (2021); Nascimento et al (2019); Bag et al (2021); Kusi-Sarpong et al (2021); Khan, Ahmad e Majava (2021); Gupta, Kumar e Wasan (2021); Jabbour et al (2021); Pham et al (2019);.
Total	41	

O primeiro grupo é composto por oito artigos que analisam a ligação dos temas e seus impactos. Apesar de ficar claro a relevância da integração de ambas temáticas, é notório, que esse ainda é um assunto embrionário e em fase de contextualização e investigação. Jabbour *et al.* (2020), constata a necessidade de realização de estudos experimentais para elucidar o desempenho aprofundado da conexão entre a Indústria 4.0 aplicada no âmbito do desenvolvimento de produtos para Economia Circular.

A segunda categoria de objetivos dos artigos possui dez itens e está relacionada a estudos voltados a identificar o alinhamento entre a Indústria 4.0 e a Economia Circular para o desenvolvimento de uma cadeia de suprimentos mais sustentável, reduzindo os desperdícios e otimizando o desempenho das manufaturas. De Souza Jabbour *et al.* (2018) e Rajput e Singh (2019) consideram que a Economia Circular juntamente com a Indústria 4.0 motiva as entidades a avançarem na cadeia de suprimentos, proporcionando um novo ponto de vista em relação a produção e consumo. A sustentabilidade consegue ser obtida pela associação entre a Indústria 4.0 e Economia Circular. Portanto, o alinhamento entre Indústria 4.0 e Economia Circular busca reduzir emissão de poluentes, reaproveitamento e reciclagem de materiais, destinação apropriada de resíduos para o *design* da cadeia de suprimentos; aprimorando a logística o

descarte e melhorando a eficácia na utilização dos recursos a partir das tecnologias fomentadas pela Indústria 4.0.

O conteúdo mais abordado se conecta de forma geral com a cooperação da Indústria 4.0 para adoção e até mesmo migração da economia linear para economia circular, em suas diversas áreas de atuação. Ao total foram 23 artigos.

Examinando os resultados da última classe e realizando uma investigação das palavras-chave empregadas nos estudos, foram identificadas três tecnologias da Indústria 4.0, compondo as obras, conforme destaca a tabela 4.

Tabela 4 – Tecnologias destacadas nas palavras-chave dos estudos.

Tecnologias - Indústria 4.0	Autores
Big Data	Rajput e Singh (2020); Abdul-Hamid et al (2020); Abdul-Hamid et al (2021); Awan, Sroufe e Shahbaz (2021); Gupta, Kumar e Wasan (2021).
Internet of Things	Rajput e Singh (2020); Abdul-Hamid et al (2021); Awan, Sroufe e Shahbaz (2021); Chauhan, Jakhar e Chauhan (2021); Jabbour et al (2018); Dantas et al (2021); Khan, Ahmad e Majava (2021);
Cyber-Physical Systems	Abdul-Hamid et al (2020); Rosa et al (2020); Pham et al (2019);

Os benefícios da aplicação de tais tecnologias para Economia Circular, podem ser apontados em alguns exemplos como: (i) no rastreamento da produção e logística, utilizando a IoT, que possibilita a incorporação de plantas e a distribuição de estruturas produtivas e logísticas; (ii) na integração horizontal e vertical, por meio da inteligência artificial, *big data* e internet das coisas, para acesso imediato a informações críticas e tomada de decisão. (CNI, 2017).

4. DISCUSSÃO

Examinando os resultados listados na metodologia, podemos notar que, de forma geral, as pesquisas registradas na literatura que englobam a Indústria 4.0 estão voltadas em contribuir para introdução da Economia Circular. Tais componentes colaboram nos processos diretos relativos à redução de matéria-prima e uso de materiais, otimização das técnicas de produção e sistemas de distribuição, redução do impacto durante o uso, ampliação do tempo de vida do produto, dentre outros. A seguir estão estabelecidas as tecnologias encontradas através das principais palavras chave dos autores, como mostrado na tabela 4.

Os sistemas ciber-físicos, ou CPS, são programas de cooperação de entidades computacionais que se integram com processos físicos (*softwares* e máquinas), deste modo, computadores e redes agregam, fiscalizam e controlam os processos físicos, e os abastecem com dados e informações. Através dos CPS, as organizações são capazes de retratar a vivência do mundo físico em cenários digitais, tornando viável a implementação de novos processos de produção, aprimoramento em tempo real e simulação de ambientes, com melhor exatidão e geração de valor. Segundo Santos *et al.* (2017) no setor de industrial, os sistemas ciber-físicos podem ser aplicados na produção de Produtos eficientes que proporcionam novos recursos e utilidades fundamentados na conectividade e em serviços inteligentes que empregam a tecnologia para digitalização das atividades de entrega.

Considerado elemento indispensável para lidar de maneira ágil e eficaz com os dados gerados a partir dos CPS, o *Big data* é uma técnica utilizada para análise de amplos volumes de dados estruturados e não estruturados. Essa tecnologia proporciona grandes vantagens nos processos de produção, tanto na identificação de prováveis cenários com possibilidades de ocorrer interrupções na produção, quanto para constatar falhas no processo de fabricação, na avaliação de qualidade, na localização de defeitos, na área de suprimentos, na elaboração de produtos personificados, no controle de dispositivos em tempo real, dentre outros.

A *Internet of Things* (IoT) pode ser definida como uma rede integrada de objetos físicos que são munidos de eletrônicos, software, sensores, atuadores e funcionalidades de conectividade para que possam se conectar e comutar dados (ATZORI *et al.*, 2010). As tecnologias IoT proporcionam novas maneiras de interação com os dados, sendo que em momento anterior, esses mesmos dados eram considerados incompreensíveis e agora se tornaram concretos e disponíveis para serem empregados em tempo real e processados de forma analítica. Como exemplo, podemos citar um sistema de *big data* que é alimentado por dados concebidos pelo sensoriamento IoT, em conjunto com análise da cadeia de suprimentos são capazes de descobrir novos *insights* para tomada de decisões mais ágeis e eficientes, baseadas em dados que antes eram inutilizáveis (ZHANG *et al.*, 2020).

Sendo assim, os modelos de EC fundamentados em captura de dados por IoT, podem ser aplicados para avaliação, ao decorrer do ciclo de vida de certos produtos, como smartphones e eletrônicos. Os dados do produto em utilização também podem ser manipulados para aperfeiçoar as estratégias de regeneração do produto, como reaproveitamento, reciclagem e remanufatura (ALCAYAGA *et al.*, 2019).

Ao recolher informações referentes ao estágio de uso, as organizações podem otimizar continuamente o *design* de seus produtos, por exemplo, para expandir a longevidade e

produtos com componentes digitais permitem facilmente a modernização de suas aplicações, estendendo sua vida útil (BRESSANELLI et al. 2018).

Por intermédio do *big data* e da IoT, o setor de industrial é aprimorado, uma vez que, dados sobre produção, consumo de matéria-prima, entrega de produtos, deliberações de compra e os melhores produtos para o consumidor em um setor específico estão imediatamente disponíveis. Isso conduz a evolução de um programa para reciclagem de embalagens e limita os resíduos concebidos a partir de materiais, delineando quais materiais adquirir ou não, quais materiais estão prontamente disponíveis nos produtos ao final de seu ciclo de vida, abordando questões de logística e contextualizando objetivos de redução de resíduos, com a expectativa de que ocorram condutas reestruturadas de economia circular (AWAN, 2021).

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho cumpriu seu objetivo principal com a ênfase na literatura e seus aspectos técnicos, analisando e relacionando os termos “*economy circular*” e “*industry 4.0*”, através de revisão sistemática da literatura. Constata-se que foi atingido adequadamente o intuito geral, pois foi viável a análise de artigos que se conectam com a temática proposta.

Foi possível averiguar uma correlação entre os trabalhos, o que proporcionou uma investigação dos objetivos das pesquisas além de uma segmentação em três grandes categorias, sendo elas: Conexão entre indústria 4.0 e economia circular, Alinhamento entre Economia circular e Indústria 4.0 para sustentabilidade na cadeia de suprimentos e Indústria 4.0 e suas tecnologias nas áreas de atuação abrangidas pela Economia Circular.

Após a análise dos estudos, foi possível verificar a Indústria 4.0 como fator impulsionador significativo para o desenvolvimento da economia circular, desse modo, as tecnologias provenientes da indústria 4.0 podem fornecer muitas ideias e soluções inovadoras para proporcionar uma produção mais sustentável.

Da discussão e conclusão dos temas, acredita-se que, apesar dos conceitos e as análises apontados serem discutidos na literatura, é essencial que se repasse à execução prática da "Economia Circular" juntamente com a "Indústria 4.0". A modificação para uma “Economia Circular” oferece oportunidades ambientais, econômicas e sistêmicas, para as organizações e para a sociedade como um todo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AWAN, Usama, SROUFE, Robert & SHAHBAZ, Muhammad (2021) **Industry 4.0 and the circular economy: A literature review and recommendations future research**. *Business Strategy and the Environment* (2021), p. 2038-2060 <https://doi.org/10.1002/bse.2731>.

ALCAYAGA, Andres, WIENER, Melanie & HANSEN, Erik G. (2019) **Towards a framework of smart-circular systems: na integrative literature review**. *Journal of Cleaner Production*, 221 (2019), pp. 622-634.

BRESSANELLI, Gianmarco, ADRODEGARI, Federico, PERONA Marco, SACCANI, Nicola (2018) **Exploring how usage-focused business modles enable circular economy through digital technologies**. *Sustainability*, 10 (2018), p. 639 [10.3390/su10030639](https://doi.org/10.3390/su10030639).

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. **Desafios para a Indústria 4.0 no Brasil**. Brasília: CNI, 2016a.

COUTINHO, L. **Encruzilhada para a indústria brasileira**. Valor econômico. out. 2016. Disponível em: <http://www.valor.com.br/opiniao/4754597/encruzilhada-para-industria-brasileira>>. Acesso em: 05 mar. 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **ECONOMIA CIRCULAR: uma abordagem geral no contexto da indústria 4.0 - Confederação Nacional da Indústria**. – Brasília: CNI, 2017.

D. S.; SELES, B. M. R. P.; PINHEIRO, M. A. P.; DA SILVA, H. M. R. **First-mover firms in the transition towards the sharing economy in metallic natural resource-intensive industries: Implications for the circular economy and emerging industry 4.0 technologies**. *Resources Policy*, 66, 101596, 2020.

DAVIS, J.; EDGAR, T.; GRAYBILL, R.; KORAMBATH, P.; SCHOTT, B.; SWINK, D.; WETZEL, J. **Smart manufacturing**. *Annual review of chemical and biomolecular engineering*, v. 6, p. 141-160, 2015.

DEN HOLLANDER, Marcel C.; BAKKER, Conny A.; HULTINK, Erik Jan. **Product design in a circular economy: Development of a typology of key concepts and terms**. *Journal of Industrial Ecology*, v. 21, n. 3, p. 517-525, 2017.

DE SOUSA JABBOUR, A. B. L. ET al.. **Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations**. *Annals of Operations Research*. v. 270. P. 273-286. 2018.

JABBOUR, C. J. C.; FIORINI, P. D. C.; WONG, C. W.; JUGEND, D.; JABBOUR, A. B. L. STOCK, T.; SELIGER, G. **Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0**. *Procedia CIRP* 40. v. 40, p. 536-541. 2016.

KAGERMANN, H.; HELBIG, J.; HELLINGER, A.; WAHLSTER, W. **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group.** Forschungsunion, 2013.

KAMP ALBÆK, Julie et al. **Circularity evaluation of alternative concepts during early product design and development.** Sustainability, v. 12, n. 22, p. 9353, 2020.

KANG, H. S.; LEE, J. Y.; CHOI, S.; KIM, H.; PARK, J. H.; SON, J. Y.; DO NOH, S. **Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions.** International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, v. 3, n. 1, p. 111-128, 2016.

KIRCHHERR, Julian; REIKE, Denise; HEKKERT, Marko. **Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions.** Resources, conservation and recycling, v. 127, p. 221-232, 2017.

KORHONEN, Jouni; HONKASALO, Antero; SEPPÄLÄ, Jyri. **Circular economy: the concept and its limitations.** Ecological economics, v. 143, p. 37-46, 2018.

LIAO, Y.; DESCHAMPS, F.; LOURES, E. D. F. R.; RAMOS, L. F. P. **Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal.** International Journal of Production Research, v. 55, n. 12, p. 3609-3629, 2017.

LIU, X. F., SHAHRIAR, M. R., AI SUNNY, S. N., LEU, M. C., HU, L. **Cyber-physical manufacturing cloud: Architecture, virtualization, communication, and testbed.** Journal of Manufacturing Systems, v. 43, p. 352-364, 2017.

MAVROPOULOS, A. **Fourth industrial revolution and the future of recycling and waste management.** [S.l.]: Wasteless future. 2015.

RAJPUT, S.; SINGH, S. P. **Connecting circular economy and industry 4.0.** International Journal of Information Management. v. 49. p. 98–113.2019.