EXACTA Engenharia de Produção eISSN 1983-9308

Editor: Dr. Luiz Fernando Rodrigues Pinto,
Universidade Nove de Julho, Uninove / São Paulo - SP, Brasil
Submissões para este periódico

Check for updates

Economia Circular e Indústria 4.0: Áreas de Aplicação Conjunta

Carolina Machado Fraguas Soares[1] Chaylana Saldanha Santos[2] Francisco Santos Sabbadini[3]
Vahid Nikoofard[4] and Daniela Maria Garcia de Lima[5]

Versão do autor aceita publicada online: 11 junho 2023

Publicado online: 11 março 2024

[1,2,5]Universidade do Estado Rio de Janeiro

[3]Pós Doutorado, Economia Circular e Metabolismo Econômico Regional - Universidade de Aveiro

[4]Doutor em Física Teórica - Universidade Federal de Juiz de Fora

ARTIGO ACEITO

Nota dos autores

Autores declaram que não há conflitos de interesses.

Como citar esse artigo - American Psychological Association (APA):

Soares, C. M. F., Santos, C. S., Sabbadini, F. S., Nikoofard, V., & Lima, D. M. G. (2024, artigo aceito online). Economia Circular e Indústria 4.0: áreas de Aplicação Conjunta. *Exacta*, artigo aceito online. https://doi.org/10.5585/2024.23704

Resumo

Buscando solucionar a escassez de recursos naturais advindas das revoluções industriais e dos modelos de produções, a integração entre os conceitos e tecnologias habilitadoras com a economia circular, deverão cumprir novas otimizações dos recursos. Este estudo teve como objetivo realizar uma pesquisa bibliométrica, a partir das bases científicas *Scopus* e *Web Of Science*, e mapear os casos de aplicação conjunta de economia circular com a indústria 4.0 comparativamente a empresa MW. Através dessa pesquisa, demonstrou-se o crescimento do

(cc) BY-NC-SA

tema economia circular ou indústria 4.0 nos últimos anos, porém faltando estudos sobre o uso conjunto dos processos. Concluiu-se que as tecnologias habilitadoras existentes na Indústria 4.0 e a economia circular (EC), superam os desafios de operacionalização, suavizando a transição da cadeia de suprimentos de um modelo linear para circular. O uso combinado destas contribuem para a sustentabilidade da organização.

Palavras-chave: economia circular. Indústria 4.0. estratégia de reuso. reuso. estudos de casos.

Circular Economy and Industry 4.0: Joint Application Areas

Abstract

Seeking to solve the scarcity of natural resources resulting from industrial revolutions and production models, the integration between the concepts and technologies of industry 4.0 and circular economy should meet new resource optimizations. This study aimed to conduct a bibliometric research, from the scientific databases Scopus and Web Of Science, and map the cases of joint application of circular economy with industry 4.0 comparatively to MW company. Through this research, it was demonstrated the growth of the circular economy or industry 4.0 theme in recent years, but lacking studies on the joint use of the processes. It was concluded that the existing enabling technologies in Industry 4.0 and Circular Economy (CE), overcome operationalization challenges, smoothing the transition of the supply chain from a linear to circular model. The combined use of these contribute to the sustainability of the organization.

Keywords: circular economy. Industry 4.0. reuse strategy. reuse. case studies. bibliometric study.

1. Introdução

As constantes inovações promovidas pela tecnologia em todos os aspectos, tornaram-se essenciais para a evolução do setor industrial. A denominada indústria 4.0 é um dos motores que impulsiona as mudanças e acelera as inovações. Assim, conforme Pacchini et al. (2020, p. 279), a quarta revolução industrial já é uma realidade. Toda nova modificação, acompanha as tecnologias envolvidas no contexto histórico, deste modo, atualmente inseriu-se a internet e tecnologias digitais para o desenvolvimento da indústria 4.0, como “uma resposta aos desafios competitivos que a indústria enfrenta na atualidade”. (Khan & Turowski, 2016).

Na primeira revolução industrial em 1750, promovida por tecnologias como máquina à vapor, tear e mecanização, houve a mudança do sistema de produção do modo artesanal e domiciliar para o sistema de produção fabril, como apontado por Lukac (2015). Logo após, a segunda revolução industrial, em 1870, trouxe tecnologias como a linha de montagem fordista, o

ARTIGO ACEITO

(cc) BY-NC-SA

motor a combustão e a eletricidade, que promoveram o avanço das indústrias nas escalas produtivas (Lukac, 2015). Na metade do século XX, a terceira revolução industrial gerou mudanças a partir de tecnologias relacionadas à automação, produtos eletrônicos e internet e as tecnologias da informação e telecomunicação. Simultaneamente, entre as décadas de 70 e 80, o software cresceu em importância e oportunidades de processamento de informações, substituindo a eletromecânica pela automação eletrônica, resultando nas tecnologias digitais, como explicado por Schwab (2016), essas já predominantes no início do século XXI. Consequentemente, essas novas tecnologias foram adotadas na manufatura, conhecido como "Indústria 4.0", desenvolvida em 2011 na Alemanha, como uma nova revolução industrial (Lukac, 2015).

Um dos aspectos relativos à indústria 4.0 e suas tecnologias habilitadoras é o de que todos estão orientados para a produtividade dos negócios de diversos segmentos, redução de custos e alinhadas com a capacidade das organizações em adotar tais tecnologias (Fragapane et al., 2022). Conforme Milosevic et al. (2022), a implementação dos componentes essenciais da indústria 4.0 demanda investimentos significativos e pode não apresentar retorno financeiro imediato. Porém, os investimentos são necessários para a implementação das tecnologias habilitadoras. Porém, Milosevic et al. (2022) destaca que com a indústria 4.0 é possível expandir a capacidade de cumprir os requisitos do cliente e aumentar a produtividade do sistema de negócios sem custos e desperdícios. Se ressalta que a produção de bens e produtos, mesmo com o uso de tecnologias habilitadoras, inevitavelmente gera resíduos e rejeitos que, se descartados de forma inadequada, podem causar danos ao meio ambiente e à saúde pública. Nesse sentido, a economia circular se apresenta como uma solução para a gestão sustentável desses resíduos, por meio da sua transformação em insumos para outros processos produtivos. Concomitantemente, a simbiose industrial é uma prática importante nesse contexto. Considerando as contribuições de Järvenpää et al. (2021) e Jensen e Remmen (2017), é possível afirmar que a simbiose industrial, a economia circular e a indústria 4.0 são elementos interconectados que podem ser utilizados para alcançar a sustentabilidade ambiental. Com isso, os resíduos deixam de ser considerados um problema e passam a ser vistos como uma oportunidade de geração de valor e de redução do impacto ambiental. Esse ciclo fechado de produção contribui para a construção de uma economia circular, na qual os materiais e recursos são utilizados de forma mais eficiente e sustentável, sem a necessidade de extrair novos recursos da natureza.

Para isso, a combinação da simbiose industrial, da economia circular e da indústria 4.0 com a responsabilidade do produtor pode ser uma estratégia eficaz para alcançar a sustentabilidade

ARTIGO ACEITO

(cc) BY-NC-SA

ambiental na indústria. Isso envolve a colaboração entre empresas, a utilização de tecnologias avançadas e a mudança de atitudes e comportamentos em relação à produção e ao consumo de produtos. Casos em que os resíduos de um produtor são o insumo para outro, e nos quais o ciclo de vida dos produtos passa a ter um papel importante. Portanto, as hipóteses que se estruturam nessas definições são que a "atitude em relação à digitalização" está ligada a "Limitações internas e externas" na indústria 4.0. Isso ocorre a partir da explicação de Rüsch (2017), onde as lideranças possuem dificuldades em aceitar às tecnologias habilitadoras por não haver o retorno financeiro imediato, como citado anteriormente. Segundo Milosevic et al. (2022), a introdução da indústria 4.0 é dificultada pela falta de informação e competências digitais dos administradores, além dos custos elevados de investimento. Essas limitações impactam negativamente nos resultados de desempenho da empresa.

Quanto à última hipótese de Milosevic et al. (2022), a "atitude em relação à digitalização" está relacionada aos "Benefícios Esperados" na indústria 4.0. Isso pode ser explicado pelo fato de que às tecnologias habilitadoras apresenta diversos benefícios para as empresas, tais como a economia de recursos, eficiência operacional, rastreamento de processos, flexibilidade e coleta e análise automática de dados para identificação de riscos. O quadro 1 apresenta as principais tecnologias habilitadoras relacionadas a I4.0, as suas áreas de aplicação e seus conceitos segundo os principais autores identificados.

Quadro 1 – Tecnologias da Indústria 4.0

Tecnologias	**Exemplos de aplicabilidade**	**Conceito**	**Autores**
Cloud Computing	*Microsoft* Azure, *Google Cloud* para organizar a Gestão de trabalho	Um serviço de virtualização onde se armazenam os dados em uma plataforma acessível pela internet e com capacidade flexível às necessidades do cliente;	Frank et al. (2019) Agudo, Gobbo Junior & Gobbo (2020)
Blockchain	Contratos inteligentes e transações	Tecnologia usada para criptografar dados, permitindo segurança na transmissão de informações entre os agentes da cadeia.	Ivanov et al. (2019) Peng et al., 2022
Robôs colaborativos	Controlador Lógico Programável (CLP) e Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados	Utilização de robôs para realização de trabalhos de alto risco e substituição do homem para ganho de precisão e produtividade;	Massod & Edgger (2019) Gattullo et al., 2019

ARTIGO ACEITO

(cc) BY-NC-SA

Manufatura aditiva	Peças produzidas na indústria	Desenvolvendo prototipagem de produtos, unidades de impressão, peças de reposição em impressoras 3D;	Wahrmann et al. (2019) Agudo, Gobbo Junior & Gobbo (2020)
Modelagem virtual	Desenvolvimento de móveis, objetos, produtos e peças	Utiliza o meio do recurso computacional para simulação e criação de modelos que replicam ambientes fabris e peças	Moeuf et al. (2018) Agudo, Gobbo Junior & Gobbo (2020) Dinis (2020)
Simulação	Projeção de eventos futuros e funcionamento	Utilização de recurso computacional para simulação e criação de modelos que replicam ambientes fabris e peças. Isso pode acontecer com o uso da realidade virtual	Bendul & Blunck (2019) Agudo, Gobbo Junior, Gobbo (2020)
Desenvolvimento digital	Administrar todos os softwares, armazenamento e serviços da empresa	Sob uso de aplicativos avançados de processamento de dados e tecnologias em nuvem, para níveis mais altos de automação	Bendul & Blunck (2019) Agudo, Gobbo Junior & Gobbo (2020)
Segurança digital	Segurança de nuvem para evitar roubo de informações da empresa	Código de conduta para gestão de segurança da informação para evitar perda de clientes e contratos, danos à imagem e ruína da propriedade intelectual	Wan et al. (2016) Agudo, Gobbo Junior & Gobbo (2020)
Integração de sistemas	Facilitar o envio de arquivos e informações compactadas por meio de aplicativos e programas	A integração pode ser verticalmente entre recursos da própria fábrica, ou horizontalmente, entre membros de uma cadeia de suprimentos	Sony (2018) Gu et al. (2019)
IoT	Sensores industriais e automação no varejo	Conexão digital de objetos físicos para captura de dados, que podem ser utilizados para o processo de reciclagem de materiais	Lin, 2018 Marques & Pitarma (2019)
Sistemas físicos cibernéticos e monitoramento dos processos físicos	Máquinas conectadas em rede para otimização e sincronização de processos produtivos	Cópia virtual do espaço físico e executa decisões descentralizadas;	Agudo, Gobbo Junior & Gobbo (2020) Jiang et al. (2020)

ARTIGO ACEITO

(cc) BY-NC-SA

Big data	Estratégias de marketing e fidelização dos clientes	Coleta, armazena e processa dados para planejamento e controle das operações de fabricação.	Agudo, Gobbo Junior & Gobbo (2020) Faroukhi et al. (2020)

Elaborado pelas Autoras, 2022

O quadro apresenta algumas das tecnologias da Indústria 4.0, seus exemplos de aplicabilidade, conceitos e autores que as definem. Cada tecnologia é explicada brevemente, que demonstra como ela pode ser usada na prática. Anteriormente a este método, o ciclo de vida linear era o único processo seguido durante a conceituação, projeção, desenvolvimento, uso e descarte do produto (Rosa et al. 2020). A partir daí, surgiu a Economia Circular como um modelo de produção que busca reduzir o consumo e aumentar a reutilização e recuperação de produtos, como explicam Agudo, Gobbo Júnior e Gobbo (2020). Buscando equilibrar os impactos econômicos, ambientais e sociais, o modelo circular foi substituindo seu antecessor nas práticas industriais. A economia circular busca desenvolver um sistema de produção baseado na redução de consumo e mais reutilização e recuperação de produtos, como se pode interpretar da explicação de Agudo, Gobbo Júnior e Gobbo (2020).

Assim, as ideias da economia circular e da simbiose industrial convergem na valorização das tecnologias de produção e análise de rejeitos. Dessa forma, foi elaborada uma abordagem estratégica na EC que segue uma linha de pensamento econômico, não se restringindo apenas a um método de geração de resíduos nos processos de produção e consumo, como argumentado por Agudo, Gobbo Júnior e Gobbo (2020). Logo, a relação entre o modelo de ciclo de vida linear e a economia circular também se baseia em ideias similares de valorização de tecnologias de produção e minimização de resíduos.

Para Kirchherr et al. (2017) é necessária uma mudança de paradigma da economia linear, exigindo novas formas de produzir e consumir produtos. A ideia de que a poluição pode ser gerada de forma ilimitada e sem impactos negativos para o meio ambiente é incorreta. Desse modo, surgiram alternativas para introduzir critérios socioambientais no modelo de negócios de uma organização, como a redução do impacto ambiental da produção.

> O objetivo agora é transformar a economia de linear em circular como modelo a suportar e viabilizar o alcance das metas estabelecidas até 2050 [...] contemplar as alterações estruturais fundamentais para abraçar as novas demandas de circularidade pode conferir uma ótima oportunidade de formação de novas cadeias de valor. Há, desse modo, forte aposta numa simbiose industrial mais efetiva, em que um resíduo de uma operação pode ser insumo para outra operação. (Berardi & Dias, 2018, p.35).

ARTIGO ACEITO

(cc) BY-NC-SA

A definição conceitual e a estrutura da economia circular foi sendo desenvolvida ao longo do tempo, com base em uma série de escolas teóricas, até chegar ao estágio atual:

Quadro 2 – Escolas Teóricas EC

Conceitos	**Exemplos de aplicabilidade**	**Definição**	**Autores**
Design regenerativo	*Frameworks* para orientar o pensamento, modelar ideias, construir uma linguagem e entendimento entre a equipe	A partir da projeção de produtos, que antes mesmo de serem funcionais, são desenvolvidos para maximizar sua vida útil, restaurando fontes de energia e materiais por meio do reaproveitamento, remanufatura e reciclagem	COLE, 2012, LIEDER et al., 2017,
Economia de desempenho	Produto como serviço (serviços oferecidos junto aos produtos, através do contrato de locação ou oferta de soluções)	O item deve ter sua vida útil estendida. Os ganhos de tecnologia e conhecimento podem contribuir para que o uso econômico do produto/serviço seja ampliado	STAHEL, 2010 BARTON; MANYICA; WILLIAMSON, 2017
Do berço ao berço	Tecnologia de reciclagem de nutrientes biológicos para o reuso de esgoto	Não pode haver desperdício na indústria, pois o resíduo de um determinado segmento seria a matéria-prima de partida para outro, numa lógica circular de criação e reaproveitamento	SWAIN, 2017, KOPNINA, 2019 ÜNAL; SHAO, 2019
Ecologia industrial	*Cluster* de indústrias na Dinamarca (grandes empresas operam em um sistema no qual os produtos são trocados entre elas para reduzir gastos e reciclar produtos)	Estuda fluxos de materiais e energia, empregando preceitos da ecologia na indústria. Um dos conceitos utilizados nesta escola é a simbiose industrial (SI)	EHRENFELD; GERTLER, 1997 CHERTOW, 2008
Biomimética	Edifícios que modelam a arquitetura inspirados na circulação de ar; telas de LED, com base nos olhos dos mosquitos para criar um modelo mais econômico através da camada antirreflexiva da tela.	Analisa o comportamento dos agentes da natureza e tenta imitá-lo para evitar problemas de natureza humana	BENYUS, 2002. GEISENDORF; PIETRULLA, 2018
Economia azul	Energias renováveis do oceano, defesa das áreas marítimas, aproveitamento de mineração em águas profundas sem deteriorar o ambiente	O levantamento de todos os estudos de caso para transformar problemas em oportunidades de solução de baixo custo para o meio ambiente.	ABERKANE, 2017 BLOMSMA, 2018

Elaborado pelas Autoras, 2022

Segundo a Ellen MacArthur Foundation (2015), a EC baseia-se em três princípios: proteger e potencializar o capital natural, controlando o estoque de recursos naturais finitos e

ARTIGO ACEITO

(cc) BY-NC-SA

equilibrando o fluxo de uso de recursos renováveis; otimizar a produção de recursos para maximizar produto, valor e utilidade de componentes e materiais; e estimular a eficácia do sistema identificando e removendo externalidades negativas na economia.

A integração entre os conceitos e tecnologias habilitadoras e a otimização dos recursos, é uma lógica existente ao se inserir a economia circular, vindo como uma tendência empresarial promissora e necessária para o desenvolvimento organizacional (Gobbo Júnior al., 2018). A possibilidade de identificação de tecnologias e recursos para a Indústria 4.0 facilita o desenvolvimento da Economia Circular e a busca pela sustentabilidade. A avaliação da confiança e do comportamento corporativo entre fornecedores em cadeias de suprimentos otimiza as relações simbióticas, possibilitando aperfeiçoar a eficiência dos recursos, prolongar a vida útil do produto e fechar os círculos da economia circular, reduzindo gastos.

Assim sendo, a tecnologia permite a troca de dados para abordar a composição de materiais e compartilhar problemas de reciclagem ou otimização de reuso entre parceiros (Jensen & Remmen, 2017). Logo, as tecnologias habilitadoras existentes na indústria 4.0, surgem como mecanismos de potencial introdutório do conceito de EC, superando os desafios de operacionalização, suavizando a transição da cadeia de suprimentos de um modelo linear para circular. O uso combinado destas tecnologias facilita a implementação da economia circular e, assim, contribui para a sustentabilidade da organização.

Deste modo, a natureza do problema está atrelada a identificação das possibilidades de aplicação conjunta da economia circular e da indústria 4.0, de modo a garantir gerar fluxos eficazes de materiais e informações, conectando ideias, pessoas e lugares, gerando oportunidades. Assim sendo, a pesquisa tem como objetivo geral mapear os casos de aplicação conjunta de economia circular com a indústria 4.0. Os objetivos específicos são: realizar um estudo bibliométrico relativo à economia circular e indústria 4.0; identificar e compilar os casos de aplicação conjunta das duas áreas de conhecimento; elaborar um mapa de aplicação conjunta de ambos os campos de conhecimento.

A pesquisa tem como limitação principal a análise de casos de aplicação conjunta da economia circular com a indústria 4.0, baseada em um estudo bibliométrico quantitativo e em um estudo comparativo entre três modelos de empresas/segmentos, com uma empresa modelo quanto à aplicação da economia circular com as tecnologias habilitadoras da indústria 4.0. Dessa forma, a pesquisa pode não abranger todas as possibilidades de aplicação conjunta da economia circular e da indústria 4.0.

Portanto, a pesquisa se limitou ao estudo bibliográfico e ao estudo de caso de aplicação conjunta entre economia circular e indústria 4.0 na empresa MW, uma referência na

ARTIGO ACEITO

(cc) BY-NC-SA

integração da economia circular com a indústria 4.0. Nela, os processos são guiados pelo ciclo de vida dos produtos, desde a aquisição da matéria-prima até o descarte final, buscando minimizar o desperdício e maximizar a reutilização de materiais. Para isso, fazem uso de tecnologias avançadas para rastrear e monitorar seus processos, incluindo sensores IoT e sistemas de inteligência artificial para otimizar a produção e a logística. Além disso, a empresa adota práticas de economia circular como o design para a desmontagem e a reciclagem de resíduos. Com isso, a MW busca reduzir o impacto ambiental de sua operação e criar um modelo de negócios sustentável e rentável a longo prazo.

Optou-se pela empresa MW devido à ausência de estudos existentes quanto aos seus hábitos de processos de compras sem desperdício até chegar às lojas e supermercados regulares. A marca, é conhecida por integrar a economia circular com a indústria 4.0 para interromper o desperdício antes que ele aconteça na distribuição de alimentos. Concomitantemente, como não são encontrados muitos estudos de casos que utilizem a economia circular e a 4.0 em conjunto, muito menos que usam bases de dados e comparativos com a empresa MW.

2. Metodologia

A metodologia desenvolvida possui caráter qualitativo, para ampliar os detalhes do estudo elaborado. De acordo com os objetivos, a pesquisa se caracteriza como bibliográfica, seguindo os padrões recomendados no estudo de Gil (1991), em que é abordado todos os dados exclusivamente em fontes bibliográficas já existentes. As palavras usadas para a pesquisa e separação de artigos foram: “Indústria 4.0”, “Economia Circular”, “Ligação entre a Indústria 4.0 e a Economia Circular". Como termos extras, para auxiliar no desenvolvimento dos estudos, utilizou-se: “Estudo de caso”, “Internet das coisas” e “*Big Data*”. A pesquisa foi realizada no portal de periódicos Capes utilizando o *Web of Sciente* e *Scopus* como bases principais.

Para restringir a busca, foram utilizadas combinações utilizando três palavras chaves*: Industry 4.0 AND Circular Economy AND Study case*. Após a procura, visou separar artigos de publicação entre 2018 e 2021, nos idiomas inglês e português, com estudos totalmente finalizados. A análise foi limitada a artigos científicos e de revisão. Em suma, os filtros utilizados (critérios de inclusão e exclusão dos artigos) para formular a seleção de documentos que condissesse com o tema:

a) Área de conhecimento: assuntos abordando tanto economia circular quanto a indústria 4.0 (de preferência no mesmo estudo);
b) Língua: inglês e português;

ARTIGO ACEITO

(cc) BY-NC-SA

c) Ano de publicação: Por buscar os estudos mais recentes e atualizados, buscou-se apenas artigos publicados no período de 2018 até 2021.

A revisão de literatura, segue a perspectiva de Tranfield, Denyer e Smart (2003), onde empregará as seguintes etapas:

1) Levantamento bibliométrico das publicações sobre economia circular e indústria 4.0, nas bases *Scopus* e *Web of Science*.

2) Análise bibliométrica das publicações que permitem combinar os temas economia circular e indústria 4.0.

3) Compilação dos estudos de casos em que há aplicação conjunta da economia circular com a indústria 4.0.

Na primeira etapa, foi realizada uma busca separada nas bases *Scopus* e *Web of Science* utilizando as palavras-chave, economia circular (*circular economy*), indústria 4.0 (*industry 4.0*), uma palavra-chave por vez. O período de busca da pesquisa compreendeu desde 2015 a 18 de agosto de 2022 (data final das buscas), analisando o foco dos artigos publicados, principais áreas de pesquisa dos artigos e mais citados.

Para cada palavra-chave foi contabilizado o total de publicações e o total de artigos publicados. Em seguida, realizou-se um levantamento dos idiomas e países com mais publicações, conferindo-os sobre aqueles que abordam as questões mais condizentes com o tema. Também foi considerado as áreas de pesquisa dos artigos, de modo a selecionar aquelas que condizem com a área do projeto.

A segunda fase da pesquisa foi realizada combinando os termos economia circular (*circular economy*) e indústria 4.0 (*industry 4.0*), para analisar as publicações existentes relacionadas a esses dois temas e seguiu a mesma sistematização realizada na primeira fase. Além disso, buscou-se identificar aproximações e diferenças em relação àqueles levantados na primeira etapa. Os resultados do estudo bibliométrico ajudaram a avaliar a evolução do número de publicações relacionadas à economia circular e indústria 4.0 durante o período de análise, bem como a importância de sua aplicação conjunta, além de publicações relacionadas e pela combinação de tópicos.

3. Resultado e Discussão

Como o objetivo principal foi o de contextualizar a aplicação conjunta da indústria 4.0 e da economia circular, se realizou um comparativo entre os resultados da pesquisa por "*Industry* 4.0" e "*Circular Economy*". A busca apenas pela palavra "*Industry 4.0*" resultou em 10.303

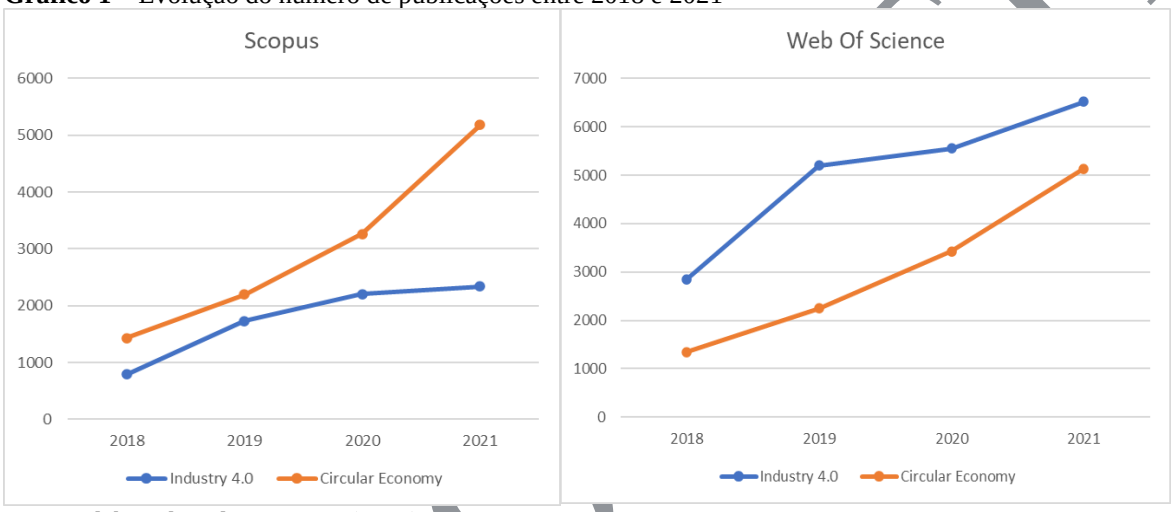
ARTIGO ACEITO

(cc) BY-NC-SA

publicações pela base *Scopus* e 33.570 pela base *Web Of Science*. Quando o período foi limitado entre 2018 até 2021, esse número reduziu para 7.062 na *Scopus* e 20.126 na *Web Of Science*. Essa busca está representada pela linha azul do gráfico (gráfico 1).

No mesmo sentido, a busca por "*Circular Economy*" resultou em 10.056 publicações pela *Scopus*, sendo 12.078 quando limitada entre os anos 2018 até 2021. Na base *Web Of Science*, foram encontradas 20.094 publicações, 12.156 datadas entre os períodos anteriores. Essa busca será tratada pela linha laranja. Portanto, no gráfico abaixo representa essas progressões de publicações dentro das duas bases no período citado:

Gráfico 1 – Evolução do número de publicações entre 2018 e 2021



Fonte: Elaborado pelos Autores (2022).

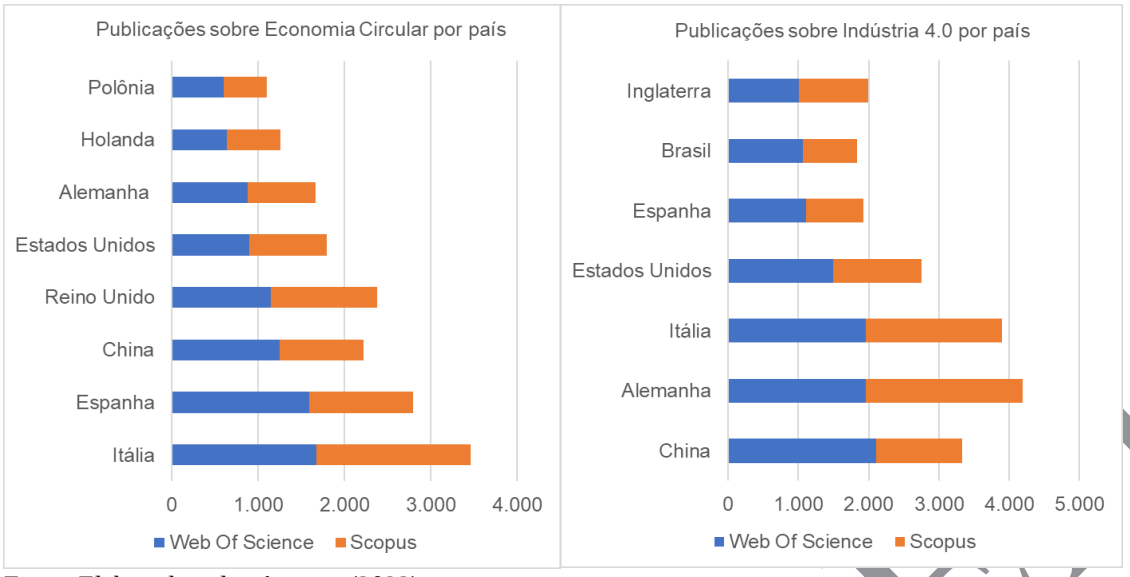
No que diz respeito à "*Industry* 4.0", na base *Scopus* houve uma taxa de crescimento entre 2018 e 2021 de 66%, sendo 5,7% entre os anos de 2020 e 2021. Dentro da *Web Of Science*, o crescimento foi de 56,2%, com uma diferença de 14,84% nos últimos dois anos.

Quanto à "*Circular Economy*", o crescimento foi de 72,3% entre 2018 e 2021 pela *Scopus*, sendo de 37% entre os últimos dois anos e na *Web Of Science* foi possível notar um crescimento de 73,68% no período pesquisado, sendo 33,28% entre os anos de 2020 e 2021. Desse modo, ficou evidente a progressão do tema nas bases de pesquisa, permitindo uma ampla escolha para a presente pesquisa. Do ponto de vista das publicações por países, mostrado no gráfico 2, nota-se em ambas as bases um destaque significativo quanto à economia circular e indústria 4.0 nos países Europeus.

Gráfico 2 – Publicações sobre por tema e país

ARTIGO

(cc) BY-NC-SA



Fonte: Elaborado pelos Autores (2022).

Os artigos selecionados pela pesquisa eram estruturados como estudos de caso que abordassem os termos de buscas delimitados. Analisou-se para isso: títulos, resumos, palavras-chave e materiais. Aqueles que não apresentavam pelo menos três categorias de seleção, foram descartados por não apresentarem coerência com os critérios de busca. Por fim, foi realizada a leitura dos artigos completos da amostra selecionada. Foram localizados 29 artigos para a primeira etapa, sendo selecionados 23 para compor o presente estudo, pois cumpriram com os critérios de inclusão mencionados. O quadro 3 descreve os resultados da pesquisa realizada, que utilizou como base as plataformas, de forma que se observa os textos separados para o desenvolvimento da análise:

Quadro 3 – Resultados organizado de acordo com a bases de busca

Base	**Tema**	**artigos em inglês**	**artigos em português**	**artigos selecionados**
Scopus	Indústria 4.0	2	4	6
	Economia Circular	4	1	3
	Indústria 4.0 e Economia Circular	4	2	3
Web of Science	Indústria 4.0	2	1	3
	Economia Circular	2	3	4
	Indústria 4.0 e Economia Circular	2	2	4
Total	23			

Fonte: Elaborado pelas autoras (2022)

ARTIGO ACEITO

(cc) BY-NC-SA

A partir de então, com o levantamento dos materiais, tornou-se possível realizar uma comparação entre empresas, empregando as análises encontradas em diferentes estudos. Por ocasião desse estudo não se obteve autorização para usar o nome da empresa, então será representada pelo nome MW. Outros segmentos comparativos foram possíveis a partir dos materiais encontrados nos artigos internacionais.

4.Estudo Comparativo

A Empresa

A empresa MW, desenvolveu-se sob o pretexto de habituar os processos de compras sem desperdício, até chegar às lojas e supermercados regulares. Segundo dados da própria marca, cerca de 16 milhões de toneladas de resíduos de embalagens plásticas são gerados na União Europeia, onde apenas 30% são reciclados. Portanto, para contornar a situação, viram como necessidade, interromper o desperdício antes que ele aconteça.

Desse modo, a empresa desenvolveu um sistema circular de cápsulas reutilizáveis, que, por meio da IoT existente na indústria 4.0, como a tecnologia inteligente adaptada à logística atual, buscando cumprir os padrões logísticos e higiênicos das redes de supermercados atuais. Portanto, esse sistema foi totalmente integrado ao processo da indústria 4.0 que traz as compras sem embalagens de uso único ao alcance dos consumidores, superando as questões e métodos de pré-ciclagem.

Assim, em comparação com a distribuição normal de alimentos em embalagens descartáveis, a MW pode reduzir o impacto ambiental negativo geral em até 71%. A partir do circuito de entrega, a cápsula reutilizável circula constantemente entre o fabricante, a loja e o centro de lavagem. Após cheia, a cápsula carrega informações detalhadas sobre o produto dentro e o protege em toda a distribuição. Quando entregue na loja, a cápsula é colocada na prateleira modular. Portanto, é garantido o fluxo de dados em tempo real para as informações da empresa, garantindo o sistema que melhora a eficiência da logística e operação de loja. De modo geral, a tecnologia simples de usar que se concentra em oferecer a experiência de compra a granel mais conveniente.

Na perspectiva do design circular, o modelo de negócio da empresa MW é orientado para o Reuso, considerando a reciclagem também como um segundo aspecto do projeto, habilitado pela logística reversa e por tecnologias habilitadoras como IoT, que dão suporte digital à operação do modelo de negócio.

Comparativos

ARTIGO ACEITO

(cc) BY-NC-SA

Analisando diferentes empresas do mesmo segmento de embalagens da MW, separou-se três empresas, conforme o estudo de caso de Järvenpää, Salminen e Kantola (2021). O fenômeno da aplicação conjunta da indústria 4.0 e da economia circular em três diferentes empresas que se situam na Finlândia, país europeu que busca novos conceitos de renovação industrial, facilitando a comparação com a empresa MW.A empresa 1 atua na produção e distribuição de materiais reciclados para empresas eletrônicas; a empresa 2 opera no setor de alimentos, produzindo diretamente bebidas que serão direcionados para mercados e consumidores; e por fim, na empresa 3, também do setor alimentício, atua na distribuição de alimentos industrializados para os consumidores e distribuidores.

No quadro 4, a empresa 1 atua com o processamento de material residual, a empresa 2 e 3 atua no ramo alimentício entre o produtor e/ou fornecedor. Desse modo, os fluxos de material nos casos são: 1) resíduos biológicos, 2) resíduos de vidro e 3) resíduos elétricos e eletrônicos.

Quadro 4 – Comparação de casos por Empresa

Caso	**Empresas**		
	Empresa 1	**Empresa 2**	**Empresa 3**
1	Produz produtos de valor a partir de resíduos biológicos	Indústria Alimentícia	Indústria Alimentícia
2	Produz produtos e matérias-primas recicladas a partir de resíduos de vidro	Fornecedor (coleta e empresas)	
3	Produz matérias-primas recicladas a partir de resíduos elétricos e eletrônicos	Fornecedor	

Fonte: Elaborado pelos Autores (2022) adaptado dos dados de Järvenpää, Salminen e Kantola (2021)

Uma das principais questões envolvidas na economia circular está no fluxo de material residual e como funcionará a cadeia de valor do ponto de vista do compartilhamento de informações. Nessas empresas, ocorre a passagem de fluxos de materiais, devendo buscar novas formas de reutilizar e adaptar para a economia circular. Desse modo, o principal desafio é saber como e quais são as tecnologias que necessitam ser aplicadas para remodelar e inovar os processos dos materiais, mantendo-nos disponíveis e se haverá para fornecer. No caso da empresa MW os materiais foram definidos desde a concepção para o reuso, o que permite vários ciclos de vida e retém o valor adicionado ao mesmo. E para além disso, ao final do seu ciclo de vida, foi concebido para a reciclagem, permitindo assim o fechamento do ciclo, como preconizam os princípios da econômica circular.

ARTIGO ACEITO

(cc) BY-NC-SA

Quadro 5 – Desafios das Empresas

Caso	Empresas		
	Empresa 1	**Empresa 2**	**Empresa 3**
1	O fornecimento de material pode aumentar rapidamente sem notificação, desafios de logística e produção. Pode haver à interrupção do ciclo	Produção pode aumentar rapidamente, o volume é alto: cumprimento de recipientes interrompe Produção	Sem desafios, soube integrar e começar os preparativos de instalação da Economia Circular nos processos
2	volume de entrada e material não são possíveis de serem readaptados na Economia Circular	Não há como prever o volume de entrada e reutilizá-lo	Sem desafios, é possível processar para adquirir um volume a ser fornecido conforme o contrato
3	Não há como prever o volume de entrada, dependendo da comunicação (ainda não finalizaram a integração IoT)	Não é possível mensurar o volume de entrada e a qualidade, devido à ausência de notificação	

Fonte: Elaborado pelos Autores (2022) adaptado dos dados de Järvenpää, Salminen e Kantola (2021)

Portanto, a questão em volta dos desafios de implementação da economia circular também está atrelada a digitalização e a utilização das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0. Logo, é possível considerar que a informação em tempo real e a reutilização de materiais ou reaplicação de resíduos, se direciona no sentido da preservação do valor e redução dos desperdícios em direção a sistemas mais circulares. Algumas empresas não veem nenhum valor monetário para a coleta de dados e não estão dispostas a desenvolver novas ideias ou reaproveitamentos por considerarem desperdício. O quadro 6, exibe as percepções das empresas sobre essas questões.

Quadro 6 – Percepções das empresas sobre informação e reaproveitamento

Caso	Empresas		
	Empresa 1	**Empresa 2**	**Empresa 3**
1	Não acham que exista nenhum valor monetário para coletar dados de processos	Não estão dispostos a investir muito no desenvolvimento	Não vê qualquer valor em inserir os dados para mudar a Economia Linear para Circular
2	A digitalização é vista como a chave para coletar material. Acredita que gastaria mais reutilizando materiais	Os dados já são utilizados para otimizar a frequência de esvaziamento	A automatização na coleta de material já existe. Disposição para desenvolver se existir um período de reembolso adequado e não haver muitos gastos
3	O monitoramento em tempo real do transporte de	Está interessado em big data para analisar e visualizar o	

ARTIGO ACEITO

(cc) BY-NC-SA

	contêineres é indispensável	fluxo de clientes e materiais acumulados. Gostaria de encontrar métodos de inserir a Economia Circular na empresa, mas teme haver gastos	

Fonte: Elaborado pelos Autores (2022) adaptado dos dados de Järvenpää, Salminen e Kantola (2021)

No caso da MW como empresa modelo de aplicação conjunta da economia circular e indústria 4.0, pode-se comparar os processos existentes entre as empresas analisadas, em relação com a marca modelo, obtendo o seguinte resultado:

Quadro 7 – Comparação MW x Outras empresas

MW	**Empresas**		
	Empresa 1	**Empresa 2**	**Empresa 3**
Reutilização de processos	Não possui interesse em desenvolver novos métodos para reutilizar os processos.	Possui interesse, mesmo já havendo um sistema básico, busca expandi-lo como o caso MW	Possui pequeno interesse, mas sem nenhum valor para investir ou compartilhar informações.
Aplicação de novas tecnologias aliadas aos fornecedores	Acredita ser desnecessário gastos elevados para tecnologias, incrementando apenas o *big data*.	Está interessado em prever por big data	
IoT (comunicação e informações constantes e instantâneas)	Não precisa de informações em tempo real, mas de *machine learning* para construir modelos produtivos.	Está interessado em expandir a IoT entre a empresa, fornecedores e consumidores. Precisa de informações em tempo real	
Design regenerativo dos produtos	Não acredita estar ligado ao setor, de modo que não seria compensatório	Está interessado em desenvolver as capacidades de design regenerativo	
Busca da aplicação de uma Ecologia industrial	Não acredita estar ligado ao setor, de modo que não seria compensatório	Não possui interesse no momento, mas a longo prazo poderá aprofundar o tema	

Fonte: Elaborado pelos Autores (2022)

Nota-se que há grandes expectativas de que IoT forneceria uma solução para os fluxos materiais eficientes da economia circular e da indústria 4.0. Esta relação está ligada ao fato de a tecnologia oferecer oportunidades para ligar o produtor com o coletor até ao usuário em tempo real, desenvolvendo o fluxo de informações entre atores que permitiriam a otimização da rede e organizacional. Portanto, existe uma necessidade de desenvolvimento das

ARTIGO ACEITO

(cc) BY-NC-SA

tecnologias disponíveis, porém, não havendo a vontade de desenvolver o compartilhamento de informações e introdução da economia circular, devido às questões de valores e investimentos iniciais. No caso da empresa MW, as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, são totalmente aderentes ao modelo de negócio da empresa, ao mesmo tempo que possibilitam que o mesmo seja operacionalmente viável. Para além disso, é necessário considerar que a MW, é uma empresa na qual seu modelo de negócio baseado em reuso e reciclagem, suportado pela logística reversa e as tecnologias habilitadoras da I4.0 está totalmente orientada para a economia circular, possuindo neste sentido orientação e maior habilidade para a implementação da circularidade, comparativamente às 3 empresas analisadas. Portanto, fatores econômicos são importantes considerações se analisar o tamanho e porte das empresas.

Conclusão

A presente pesquisa apresenta limitações em relação a sua abrangência e enfoque, sendo baseada em um estudo bibliométrico e em um estudo comparativo. Portanto, é possível que outras possibilidades de aplicação conjunta da economia circular e da indústria 4.0 não tenham sido contempladas. Contudo, os resultados obtidos mostram a viabilidade e a importância da aplicação conjunta dessas áreas de conhecimento para a criação de fluxos eficazes de materiais e informações, conectando ideias, pessoas e lugares, gerando oportunidades e contribuindo para a construção de um futuro mais sustentável.

Pode se verificar que o objetivo principal foi mapear os casos de aplicação conjunta de economia circular com a indústria 4.0 comparativamente a empresa MW. Desse modo, o estudo visou o levantamento de outros estudos que utilizassem os temas: indústria 4.0 e economia circular. Todavia, notou-se uma escassez em artigos que correlacionassem os temas. Desse modo, o projeto propôs demonstrar, a partir do modelo de sucesso da MW, a comparação entre três empresas que não possuem o uso conjunto da indústria 4.0 e da economia circular.

Não foi encontrado nenhum estudo anterior sobre a empresa MW. Ao compará-la com outras três empresas, concluiu-se que a integração dos processos potencializa o interesse dos consumidores, porém, ainda predomina um desconhecimento quanto suas inserções nas organizações e processos. Grande parte da preocupação está ligada aos gastos e dificuldades, existentes justamente devido à escassez de pesquisas e abordagens conjuntas da economia circular e indústria 4.0.

ARTIGO ACEITO

(cc) BY-NC-SA

Desse modo, foi possível identificar situações simultâneas da indústria 4.0 com economia circular em todos os processos da MW. Nota-se que o sucesso das suas operações está relacionado ao uso da IoT como uma solução para os fluxos materiais eficientes. Que a estratégia de Reuso é potencializada pela tecnologia, assim como a reciclagem, que embora seja subjacente no modelo de negócio da empresa, é um componente que fecha os ciclos. Ao incorporar as ferramentas conjuntas das tecnologias habilitadoras com a economia circular consegue-se implementar uma tecnologia que garante oportunidades para ligar o produtor com o coletor até ao usuário em tempo real, desenvolvendo o fluxo de informações que permitiriam a otimização da rede e organizacional.

ARTIGO ACEITO

Referências

Idriss J. Aberkane (2015). From waste to kwaste: on the Blue Economy in terms of knowledge flow. CS-DC'15 World e-conference, Tempe, United States. ffhal-01291106f

Liar Agudo, F., Alcides Gobbo Júnior, J., & Cristina de Oliveira Gobbo, S. (2020). Industry 4.0 and Circular Economy: Integrated or disarticulated concepts? A research agenda. Revista Gestão Da Produção Operações E Sistemas, 15(4), 48–77. https://doi.org/10.15675/gepros.v15i4.2771

Barbosa, J. M., Fonseca, M. B. A. da, & Sabbadini, F. S. (2022). The evolution of remanufacturing in the Circular Economy: an academic-technological panorama. *Research, Society and Development*, *11*(8), e39611831163. https://doi.org/10.33448/rsd-v11i8.31163

Barton, D.; Manyica, J.; Williamson, S.K. Finally, Evidence That Managing for the Long Term Pays Off. (2017). Harvard Business Review. https://hbr.org/2017/02/finally-proof-that-managing-for-the-long-term-pays-off .

Bendul, J. C., & Blunck, H. (2019). The design space of production planning and control for industry 4.0. *Computers in Industry*, *105*, 260-272. https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.10.010

Benyus, J. M. (2002). *Biomimicry : innovation inspired by nature*. Perennial.

Berardi, P., & Dias, J. M. (2018). O mercado da economia circular. GV-Executivo, 17(5), 34. https://doi.org/10.12660/gvexec.v17n5.2018.77340

Bigliardi, B., Ferraro, G., Filippelli, S., & Galati, F. (2020). The past, present and future of open innovation. *European Journal of Innovation Management*.

(cc) BY-NC-SA

Blomsma, F., & Brennan, G. (2017). The Emergence of Circular Economy: A New Framing Around Prolonging Resource Productivity. Journal of Industrial Ecology, 21(3), 603–614. https://doi.org/10.1111/jiec.12603

Chertow, M. R. (2008). "Uncovering" Industrial Symbiosis. Journal of Industrial Ecology, 11(1), 11–30. https://doi.org/10.1162/jiec.2007.1110

Cole, R. J. (2012). Regenerative design and development: current theory and practice. Building Research & Information, 40(1), 1–6. https://doi.org/10.1080/09613218.2012.617516

Coutinho, L. (2016). A terceira revolução industrial e tecnológica. As grandes tendências das mudanças. *Economia E Sociedade*, *1*(1), 69–87. Recuperado de https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/ecos/article/view/8643306

Dinis, F. M., Sanhudo, L., Martins, J. P., & Ramos, N. M. M. (2020). Improving project communication in the architecture, engineering and construction industry: Coupling virtual reality and laser scanning. Journal of Building Engineering, 30, 101287. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101287

Ehrenfeld, J., & Gertler, N. (1997). Industrial Ecology in Practice: The Evolution of Interdependence at Kalundborg. Journal of Industrial Ecology, 1(1), 67–79. https://doi.org/10.1162/jiec.1997.1.1.67

Elia, V., Gnoni, M. G., & Tornese, F. (2017). Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. Journal of Cleaner Production, 142, 2741–2751. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.196

Ellen Macarthur Foundation (2015). Economia Circular Publicações. (n.d.). Archive.ellenmacarthurfoundation.org. https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/pt/resources/reports-and-books

Faroukhi, A.Z., El Alaoui, I., Gahi, Y. *et al* (2020). Big data monetization throughout Big Data Value Chain: a comprehensive review. *J Big Data* **7**, 3 (2020). https://doi.org/10.1186/s40537-019-0281-5

Fragapane, G., Ivanov, D., Peron, M., Sgarbossa, F., & Strandhagen, J. O. (2020). Increasing flexibility and productivity in Industry 4.0 production networks with autonomous mobile robots and smart intralogistics. Annals of Operations Research. https://doi.org/10.1007/s10479-020-03526-7

Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. International Journal of Production Economics, 210(210), 15–26. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004
Freeman, C., & Luc Soete. (2008). A Economia da inovação industrial. Editora Da Unicamp.

Garske, B., Bau, A., & Ekardt, F. (2021). Digitalization and AI in European Agriculture: A Strategy for Achieving Climate and Biodiversity Targets? Sustainability, 13(9), 4652. https://doi.org/10.3390/su13094652

ARTIGO ACEITO

(cc) BY-NC-SA

Gattullo, M., Scurati, G. W., Fiorentino, M., Uva, A. E., Ferrise, F., & Bordegoni, M. (2019). Towards augmented reality manuals for industry 4.0: A methodology. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 56, 276–286. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.10.001

Geisendorf, S., & Pietrulla, F. (2018). The circular economy and circular economic concepts-a literature analysis and redefinition. Thunderbird International Business Review, 60(5), 771–782. https://doi.org/10.1002/tie.21924

Gil, Antônio Carlos (1991). Como elaborar projetos de pesquisa. 3.ed. São Paulo, Atlas. 159p.

Gu, F., Guo, J., Hall, P., & Gu, X. (2019). An integrated architecture for implementing extended producer responsibility in the context of Industry 4.0. International Journal of Production Research, 57(5), 1458–1477. https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1489161

Järvenpää, A. M., Salminen, V., & Kantola, J. (2021). Industrial Symbiosis, Circular Economy and Industry 4.0–A Case Study in Finland. *Management and Production Engineering Review*, *14*(4), 111-121. 10.24425/mper.2021.139999

Jensen, J. P., & Remmen, A. (2017). Enabling Circular Economy Through Product Stewardship. Procedia Manufacturing, 8, 377–384. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.02.048

Jiang, W., Pop, P., & Jiang, K. (2020). Design optimization for security- and safety-critical distributed real-time applications. Microprocessors and Microsystems, 52, 401–415. https://doi.org/10.1016/j.micpro.2016.08.002

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. (2017), "Conceptualizing the circular economy: Na analysis of 114 definitions", Resources, **Conservation and Recycling**, Vol. 127, September, pp. 221–232

Khan, A., & Turowski, K. (2020). A Perspective on Industry 4.0: From Challenges to Opportunities in Production Systems. Proceedings of the International Conference on Internet of Things and Big Data. https://doi.org/10.5220/0005929704410448

Khan, A. A., & Abonyi, J. (2022). Information sharing in supply chains - Interoperability in an era of circular economy. Cleaner Logistics and Supply Chain, 100074. https://doi.org/10.1016/j.clscn.2022.100074

Kopnina, H. (2019). Green-washing or best case practices? Using circular economy and Cradle to Cradle case studies in business education. Journal of Cleaner Production, 219, 613–621. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.005

Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular Economy: The Concept and Its Limitations. Ecological Economics, 143(1), 37–46. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041

Lieder, M., Asif, F. M. A., Rashid, A., Mihelič, A., & Kotnik, S. (2017). Towards circular economy implementation in manufacturing systems using a multi-method simulation

ARTIGO ACEITO

(cc) BY-NC-SA

approach to link design and business strategy. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 93(5-8), 1953–1970. https://doi.org/10.1007/s00170-017-0610-9

Lin, K.-Y. (2018). User experience-based product design for smart production to empower industry 4.0 in the glass recycling circular economy. Computers & Industrial Engineering, 125, 729–738. https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.06.023

Manavalan, E., & Jayakrishna, K. (2019). A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. Computers & Industrial Engineering, 127(1), 925–953. https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.030

Marques, G., & Pitarma, R. (2019). An Internet of Things-Based Environmental Quality Management System to Supervise the Indoor Laboratory Conditions. Applied Sciences, 9(3), 438. https://doi.org/10.3390/app9030438

Masood, T., & Egger, J. (2019). Augmented reality in support of Industry 4.0 — Implementation challenges and success factors. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 58, 181–195. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.02.003

Milošević, I., Arsić, S., Glogovac, M., Rakić, A., & Ruso, J. (2022). Industry 4.0: Limitation or benefit for success? Serbian Journal of Management, 17(1), 85–98. https://doi.org/10.5937/sjm17-36413

Miwa. Presentation (2022). https://solarimpulse.com/companies_file/miwa.eu-1.pdf.

Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S., & Barbaray, R. (2018). The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. International Journal of Production Research, 56(3), 1118–1136. https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1372647

Mubarak, M. F., & Petraite, M. (2020). Industry 4.0 technologies, digital trust and technological orientation: What matters in open innovation? Technological Forecasting and Social Change, 161, 120332. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120332

Okorie, O., Obi, M., Russell, J., Charnley, F., & Salonitis, K. (2021). A triple bottom line examination of product cannibalisation and remanufacturing: A review and research agenda. Sustainable Production and Consumption, 27, 958–974. https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.013

Pacchini, A. P. T., Santos, J. C. D. S., Logiudice, R., & Lucato, W. C. (2020). Indústria 4.0: barreiras para implantação na indústria brasileira. Exacta, 18(2), 278–292. https://doi.org/10.5585/exactaep.v18n2.10605

Peng, S., Cai, Z., Liu, W., Wang, W., Li, G., Sun, Y., & Zhu, L. (2022). Blockchain Data Secure Transmission Method Based on Homomorphic Encryption. *Computational Intelligence and Neuroscience*, *2022*, e3406228. https://doi.org/10.1155/2022/3406228

Pontes, A. T., & Angelo, A. C. M. (2020). Utilização da avaliação do ciclo de vida no contexto da economia circular: uma revisão de literatura. Sistemas & Gestão, 14(4), 424–434. https://doi.org/10.20985/1980-5160.2019.v14n4.1576

ARTIGO ACEITO

(cc) BY-NC-SA

Rosa, P., Sassanelli, C., Urbinati, A., Chiaroni, D., & Terzi, S. (2019). Assessing relations between Circular Economy and Industry 4.0: a systematic literature review. International Journal of Production Research, 58(6), 1662–1687. https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1680896

Rosin, A., F., Proksch, D., Stubner, S., & Pinkwart, A. (2020). Digital new ventures: Assessing the benefits of digitalization in entrepreneurship. Journal of Small Business Strategy, 30(2), 59-71.

Schwab, K. (2016). The Fourth Industrial Revolution. Penguin Random House.

Silva, A. F. C. da, Ribeiro, A. de O., Cruz, B. S. de S., Almeida, C. P. de, Costa, K. A., & Sabbadini, F. S. (2022). Análise da integração da indústria 4.0 e economia circular para consolidação do conceito da remanufatura 4.0: um estudo bibliométrico. Research, Society and Development, 11(7), e9511729687. https://doi.org/10.33448/rsd-v11i7.29687

Sony, M. (2018). Industry 4.0 and lean management: a proposed integration model and research propositions. Production & Manufacturing Research, 6(1), 416–432. https://doi.org/10.1080/21693277.2018.1540949

Stahel, W. R. (2010). The performance economy. Palgrave ; Macmillan.

Swain, B. (2017). Recovery and recycling of lithium: A review. Separation and Purification Technology, 172, 388–403. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.08.031

Ünal, E., & Shao, J. (2019). A taxonomy of circular economy implementation strategies for manufacturing firms: Analysis of 391 cradle-to-cradle products. Journal of Cleaner Production, 212, 754–765. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.291

Wan, J., Tang, S., Shu, Z., Li, D., Wang, S., Imran, M. and Vasilakos, A. (2016) Software-Defined Industrial Internet of Things in the Context of Industry 4.0. IEEE Sensors Journal, PP, 1. http://dx.doi.org/10.1109/JSEN.2016.2565621

Wahrmann, D., Hildebrandt, AC., Schuetz, C. *et al* (2019). An Autonomous and Flexible Robotic Framework for Logistics Applications. *J Intell Robot Syst* **93**, 419–431. https://doi.org/10.1007/s10846-017-0746-8

ARTIGO ACEITO

(cc) BY-NC-SA