

A Indústria 4.0 como um Facilitador para a Economia Circular
Industry 4.0 as an Enabler for the Circular Economy

Gustavo Faria Ferrazzini¹; Raquel Teixeira Campos¹

¹Centro Universitário Sagrado Coração, Bauru/SP, Brasil.

E-mail (autor principal): gugaff10@hotmail.com

RESUMO

A economia linear amplamente utilizada pelas indústrias está se tornando inviável para o meio ambiente, dessa forma, o método da economia circular vem surgindo para amenizar os resíduos e contribuir para a prosperidade econômica e a qualidade ambiental. Esse método se baseia na circularidade, reincorporando os resíduos ao processo produtivo para a criação de novos produtos. A ampla tecnologia utilizada pela indústria 4.0 dispõe como objetivo automatizar os processos, gerando uma maior capacidade menos propensa à erros e fornecer um alto desempenho em termos de produção, design e sistemas. Desse modo, o presente artigo apresenta e discute por meio de uma revisão bibliográfica os conceitos dos temas abordados para compreender suas relações auxiliando na prática dos mesmos. Este trabalho teve como objetivo o entendimento da Indústria 4.0 como um facilitador da Economia Circular. Essa pesquisa resultou na criação de um *framework* cooperando com informações as quais possibilitam o entendimento para uma futura implementação dos conceitos na empresa.

Palavras chaves: Pilares. Resíduos. Sustentabilidade. Tecnologias.

ABSTRACT

The linear economy widely used by industries is becoming unfeasible for the environment, thus, the circular economy method has emerged to mitigate waste and contribute to economic prosperity and environmental quality. This method is based on circularity, reincorporating waste into the production process to create new products. The broad technology used by Industry 4.0 aims to automate processes, generating greater capacity that is less prone to errors and providing high performance in terms of production, design and systems. In this way, this article presents and discusses, through a bibliographic review, the concepts of the topics addressed in order to understand their relationships, helping in their practice. This work aimed to understand Industry 4.0 as a facilitator of the Circular Economy. This research resulted in the creation of a framework cooperating with information which makes possible the understanding for a future implementation of the concepts in the company.

Keywords: Pillars. Waste. Sustainability. Technology.

INTRODUÇÃO

Com o passar dos tempos, a busca por tecnologias vem aumentando diariamente, isso se dá ao fato de que com o tempo, os recursos tendem a acabar. Está cada vez mais caro produzir e os padrões de consumo pressionam os recursos globais, tornando-se gradualmente mais evidente que os negócios de sempre não podem mais ser sustentado (BOCKEN, 2018). Assim, pode-se analisar que a Economia Circular (EC) contribui para minimizar o esgotamento dos recursos naturais e criar impacto social, econômico e ambiental positivo, ou seja, ao invés de apenas extrair, utilizar e descartar, há o reaproveitamento e a reintrodução desses resíduos na produção de novos materiais.

A EC é capaz de estimular o crescimento e atrair capital de investimento. Assim, incorporar seus atributos na fase de Pesquisa & Desenvolvimento da operação, estimula o progresso nas ciências dos materiais e produz o desenvolvimento de componentes de maior qualidade e mais duráveis. De acordo com Jabbour et al. (2018), tem ocorrido barreiras à adoção plena dos princípios de EC dentro das organizações e cadeias de suprimentos devido à incompreensão do ciclo da vida dos produtos e a escassez de tecnologia avançada. Porém com a chegada da tecnologia baseada na Indústria 4.0, esses princípios podem ser superados.

A Indústria 4.0 se baseia na comunicação digital com o mundo real, essa conectividade se dá devido à internet das coisas juntamente com os dispositivos eletrônicos. Segundo Jabbour et al. (2018), a aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 permite o monitoramento e controle em tempo real de importantes parâmetros de produção, como status de produção, consumo de energia, fluxo de materiais, pedidos de clientes e dados de fornecedores.

Portanto, neste artigo procurou-se analisar as relações entre a Economia Circular e a Indústria 4.0 e como a I4.0 se torna um facilitador da EC. Nesse sentido, será necessário conhecer, através da revisão bibliográfica, os conceitos de EC e da Indústria 4.0, bem como suas características.

Justifica-se a escolha do presente estudo, tendo em vista que a união dos temas abordados auxilia no crescimento econômico, ambiental, social das organizações e tecnológico, pois é de suma importância que comece a se pensar nos malefícios a longo prazo de uma extração intensiva de recursos naturais e a geração excessiva de resíduos, juntamente com a falta de recursos tecnológicos em indústrias com baixo poder aquisitivo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização da fundamentação teórica, foram utilizadas bases de dados científicas renomadas e disponíveis para a comunidade a fim de auxiliar na pesquisa e no desenvolvimento do trabalho, o qual foi realizado entre agosto a novembro de 2022. Entre as bases utilizadas

estão: Portal de Periódicos CAPES, Scopus e Google Acadêmico. Para a pesquisa nas bases de dados foram utilizadas as palavras chaves, tais como: “economia circular”, “circular economy”, “indústria 4.0”, “industry 4.0”, “relação entre a indústria 4.0 e a economia circular”, “relationship between circular economy and industry 4.0”.

A busca determinou resultados de artigo em duas línguas: português e inglês, com datas entre 2016 e 2022. Foram encontrados inúmeros artigos entre esses anos citados, porém para uma pesquisa mais adequada foi feita uma filtragem pelos mais citados. Após uma cautelosa seleção de artigos, buscando um alinhamento com o objetivo da pesquisa, foram selecionados 21 (vinte e um) artigos.

ECONOMIA CIRCULAR

Com o passar dos anos, a economia linear na qual se baseia o método de produção tradicional que consiste em extrair, produzir, consumir e “jogar” fora os resíduos que sobram da produção não é mais viável economicamente e sustentavelmente para o planeta, com isso, um novo método vem se tornando cada vez mais utilizado por indústrias. Segundo Portugal (2019), esse método é o da economia circular, a qual corresponde em reincorporar ao processo produtivo os materiais que contêm os resíduos para a produção de novos produtos ou matérias primas, visando à redução, à reutilização, à reciclagem e à valorização material nos processos essenciais.

Objetivando à prosperidade econômica e à qualidade ambiental, a economia circular tem o propósito de reduzir a quantidade de lixo produzido, diminuir os impactos que ele causa ao ambiente e reutilizá-lo. Assim, menos produtos são descartados, permitindo economizar recursos e energia, gerando novos empregos e novos sistemas a cada etapa, maximizando o valor de cada ponto da vida de um produto, ganhando espaço na reciclagem de materiais e equilibrando o crescimento econômico e ambiental.

Segundo Ometto et al. (2018), a economia circular é baseada no valor de longo prazo e com visão estruturada associando o crescimento econômico a um modelo que promove a regeneração e a restauração do capital natural gerando impactos sociais e econômicos positivos. Algumas práticas associadas à economia circular podem trazer uma grande redução de custo e uma maior geração de valor; com o emprego da economia circular há novas fontes para investimentos. Uma outra contribuição da EC é manter as matérias primas sendo utilizadas por mais tempo dentro do sistema com etapas reversas, assim diminuindo a grande quantidade de procura das mesmas e também, diminuindo a exposição a variação dos preços; O uso do ciclo reverso na produção ocasionará uma mão de obra mais intensa, desta maneira, gerando mais empregos.

Um estudo feito por Filho et al. (2019) sobre a implementação da economia circular nas usinas de reciclagem de resíduos da construção civil, mostrou resultados positivos e negativos. Um ponto positivo é de que a reciclagem de entulhos nas usinas de reciclagens (UREs) geraria

ações para o crescimento econômico, para a inclusão social devido ao emprego da mão de obra e conservaria a natureza, pois haveria uma redução na exploração de recursos naturais e na reutilização de resíduos.

De acordo também com Filho et al. (2019), a pesquisa mostra que as UREs são de extrema importância para a promoção da EC, porém elas apresentam algumas limitações nas operações e processos e isso prejudicaria a aceitação do consumidor na qualidade irregular dos produtos reciclados.

Outra pesquisa feita por Domingues et al. (2020), estudou as práticas de economia circular no desenvolvimento de novos produtos. O estudo foi feito em duas empresas brasileiras, as quais desenvolvem novos produtos. Há uma preocupação tanto ambiental quanto também em relação às exigências específicas relacionadas ao desenvolvimento de projetos com uso de materiais recicláveis, biodegradáveis e mais eficientes em utilização de recursos escassos. Mesmo as empresas aplicando algumas práticas relacionadas a EC, essas práticas não condizem com o conceito de EC, havendo assim uma precariedade no conhecimento do método e dificuldade na implementação do mesmo.

Outra análise feita por Reis e Fernandes (2021), mostra o estudo de caso na economia circular na reutilização de resíduos sólidos no mercado calçadista. Esse estudo foi feito em duas empresas que fabricam calçados remanufaturados. Segundo Reis e Fernandes (2021), o único desafio das empresas é a manutenção de fornecedor de resíduos. Já os benefícios dessa produção de calçados remanufaturados são a proteção do meio ambiente e a redução de custos no setor de economia. Uma das empresas afirma que as sobras da produção são destinadas à aterros, porém a outra empresa aplica a EC destinando suas sobras à outra empresa na qual os transforma em novos materiais.

O referido trabalho conclui, segundo os autores, que a reutilização de resíduos como matéria-prima para a fabricação de calçados é uma importante ferramenta para minimizar o impacto ambiental causado por um produto que têm em seus componentes diversos materiais agressivos ao meio ambiente. Quando reutilizamos resíduos estamos minimizando esses impactos ambientais causados durante o processo de produção e de descarte de calçados, por exemplo, e isso traz um viés altamente sustentável para as empresas, perspectivas e objetivos da EC, alinhado a incrementos de tecnologias avançadas como por exemplo, tecnologias ligadas a indústria 4.0 que sirvam de suporte tanto para a redução dos impactos ambientais como a transição para a economia circular.

INDÚSTRIA 4.0

Lançado em 2011, na feira de Hannover, um projeto da indústria alemã denominado *Plattform Industrie 4.0* (Plataforma Indústria 4.0) fez nascer o conceito da Indústria 4.0, a qual se baseia na integração de tecnologias de informação e comunicação máquinas a humanos, (Sacomano et al. 2018).

Apesar da grande importância do tema, não existe ainda uma definição formalmente aceita por todos. Em consequência disso, algumas interpretações do tema podem ser encontradas na literatura. Segundo Santos et al. (2018), a Indústria 4.0 é um dos termos utilizados para descrever a estratégia de alta tecnologia promovida pelo governo alemão que está sendo implementada pela indústria. Abrange um conjunto de tecnologias de ponta ligadas à internet com objetivo de tornar os sistemas de produção mais flexíveis e colaborativos.

Dentro da Indústria 4.0 há as fábricas inteligentes, as quais são postos-chaves na busca pela criação de produtos, processos e procedimentos inteligentes, tratam-se de plantas capazes de tratar complexidades maiores, menos propensas a interrupções (PEREIRA et al. 2018).

Prevendo-se a integração de seres humanos e máquinas, mesmo distantes geograficamente, enredando produtos e serviços de forma automática, a indústria 4.0 objetiva conectar o mundo digital e físico. Os principais ativos da maior parte das fábricas estão no meio físico, como ferramentas, máquinas, colaboradores, estoques, entre outros, que levam o produto final até o consumidor. O objetivo é ganhar tempo, alavancar a produção, aumentar a receita e manter o custo.

Essas fábricas inteligentes, juntamente com a indústria 4.0 são desenvolvidas por 9 conceitos denominados de “Os 9 pilares da Indústria 4.0”. Como mostrados na Tabela 1, são eles: Big Data, Robôs Autônomos, Realidade Aumentada, Simulação, Integração com Sistemas, Manufatura Aditiva, Cybersegurança, Nuvem e Internet das Coisas (IoT) (ROBLEK, 2016) (Quadro 1).

Com o intuito de desenvolver produções inteligentes, agregando tecnologias e complementando as etapas do desenvolvimento de processos e produtos pensando na eficácia e aumento da produtividade, Antonio et al. (2018), mostram que os princípios básicos da Indústria 4.0 se baseiam na alta tecnologia agregada a todas as tecnologias já existentes utilizando através da comunicação a otimização das indústrias e reduzir o desperdício.

Por se tratar de um tema recente, introduzir os conceitos da Indústria 4.0 principalmente quando relacionada com a sustentabilidade ainda não nos revela quais os riscos e desafios que podem surgir totalmente. Em seu estudo, Germano et al. (2021), apresentam que a sustentabilidade para ser legítima deve atender aos interesses sociais, econômicos e ambientais simultaneamente. Com a implementação da indústria 4.0, a sustentabilidade sofreria alguns desafios, como por exemplo: a necessidade de alto investimento, diminuição das oportunidades

de trabalho, falta da estratégia para a indústria 4.0, efeitos colaterais ambientais, complexidade na reconfiguração do padrão de produção e falta de equipe de gestão qualificada, mas a falta de infraestrutura tecnológica é vista como o maior desafio entre os citados.

Quadro 1. Os 9 pilares da Indústria 4.0

Pilares da Indústria 4.0	Conceito	Referência
Big Data	Grande quantidade de dados obtidos de diversas fontes diferentes para a tomada de decisão em tempo real.	Vaidya et al. (2018)
Robôs Autônomos	Robôs autônomos capazes de trabalhar entre si e entre humanos, tendo maiores capacidades.	Pereira et al. (2018)
Realidade Aumentada	Capacidade de interagir o mundo virtual e o real com o propósito de auxiliar.	Vaidya et al. (2018)
Simulação	Simular com informações reais em ambientes virtuais, proporcionando uma redução de risco e custo.	Bai et al. (2020)
Integração com Sistemas	Integração de vários sistemas possibilitando uma maior automação.	Sacomano et al. (2018)
Manufatura Aditiva	Processo de produção de objetos em um modelo tridimensional pela união de materiais, camada por camada.	Sepasgozar et al. (2020)
Cybersegurança	Refere-se a métodos preventivos usados para proteger as informações de serem roubadas, comprometidas ou atacadas.	Redondo et al. (2021)
Nuvem	Informações são colocadas na “nuvem”, para ser acessada de qualquer parte do mundo.	Roblek et al. (2016)
Internet das Coisas	São tecnologias que permitem interação e cooperação entre pessoas, dispositivos, coisas ou objetos por meio do uso de telecomunicações sem fio.	Redondo et al. (2021)

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Por outro lado, a implementação ajudaria a sustentabilidade no fato de trazer benefícios sociais, enriquecendo a produtividade e o ambiente de trabalho, além da flexibilidade de produção e uso eficiente de recursos como benefícios. (BRACCINI e MARGHERITA, 2018).

De acordo com Bai et al. (2020), os bens de capital e de consumo estão em crescente demanda e levam ao desafio da sustentabilidade do planeta, nas dimensões econômica, social e ambiental, muito relevantes.

DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

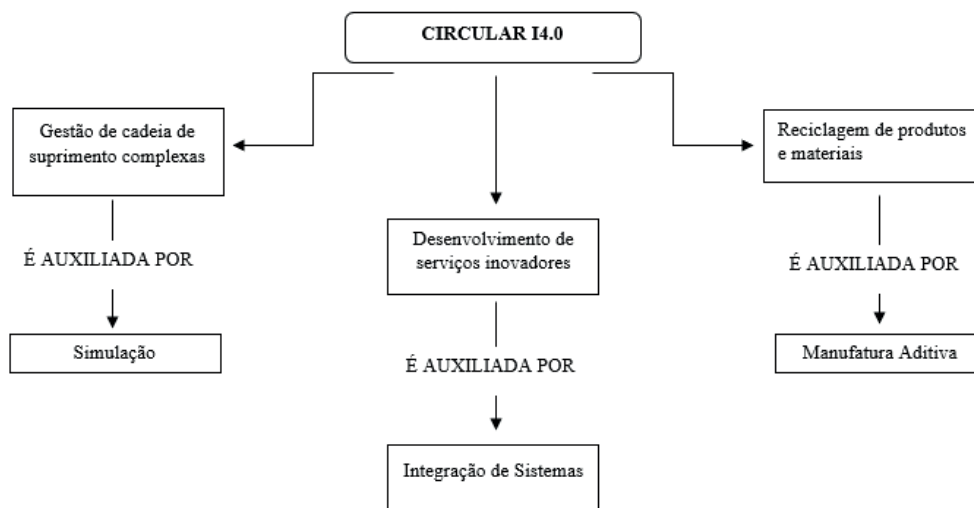
Ao realizar a leitura dos artigos escolhidos, nota-se que a falta de pesquisa e indisponibilidade de evidências relacionadas a EC poderiam reduzir a atividade de implementação da mesma nas indústrias (JABBOUR et al. 2018).

Além disso, a adoção de uma EC requer a mudança de valores e princípios, com a implementação das práticas sustentáveis em toda a cadeia de suprimentos. Porém, tem de haver uma conscientização por parte dos consumidores e também das organizações para que as práticas relacionadas à EC sejam significativas (SILVA et al. 2021).

De acordo com as pesquisas feitas nas literaturas, há um avanço em relação aos benefícios conduzidos pela EC por meio da adoção e implementação da I4.0 na indústria. Segundo Genaro (2022), os conceitos de ambos os termos utilizados nas pesquisas seguem para a mesma direção.

Tendo em vista de como as tecnologias da I4.0 influenciam a EC (circular I4.0), cinco das nove tecnologias da I4.0 podem ter um efeito positivo no gerenciamento do ciclo de vida dos produtos, como mostrado no *Framework 1* (Figura 1).

Figura 1. Framework 1: Circular 4.0

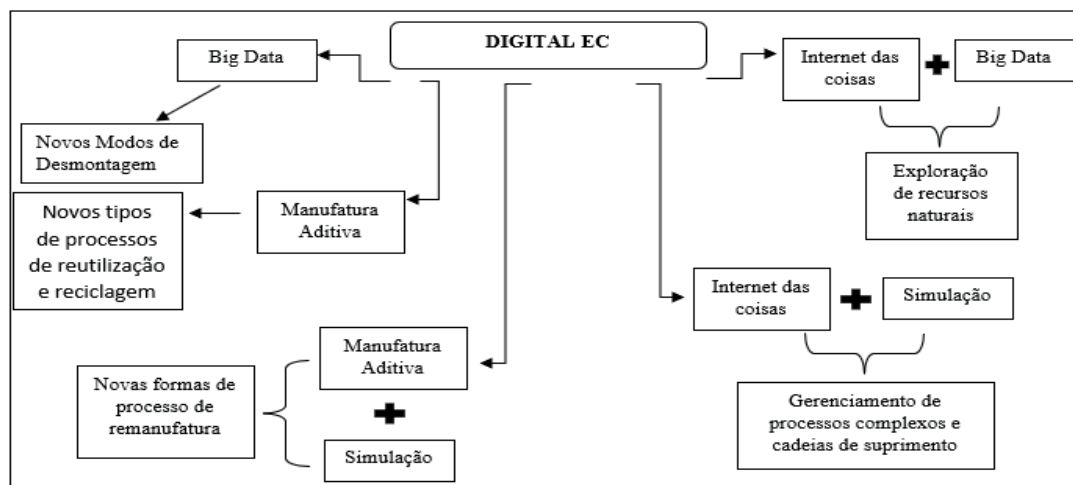


Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A manufatura aditiva relaciona a reciclagem de produtos e materiais, a integração de sistemas apoia fortemente o desenvolvimento de serviços inovadores, a simulação relaciona a uma melhor gestão de cadeias de suprimentos. Porém a *Big Data* e a IoT atrapalhariam a EC de diferentes maneiras.

Tendo em vista da perspectiva da I4.0 (Digital EC), torna-se mais acessível determinar qual tecnologia mais se relaciona com campos relacionados à EC, como mostrado no *Framework 2* (Figura 2).

Figura 2. Framework 2: Digital EC



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Dessa maneira, novos modos de desmontagem são suportados pelo Big Data, a manufatura aditiva se adequa a novos tipos de processos de reutilização e reciclagem, a junção da IoT e a Big Data auxiliam a exploração de recursos naturais, simulação e manufatura aditiva se engatam melhor com novas formas de processos de remanufatura. E por fim, a simulação e a IoT se encaixam melhor com o gerenciamento de processos complexos e cadeias de suprimentos.

Em vista disso, tendo as tecnologias da I4.0 como base, as mesmas têm capacidade de abrir caminhos para os princípios da EC, facilitando o acompanhamento de estudos de recursos naturais e também de etapas do ciclo de vida do produto. Por conta disso, uma empresa disposta a tornar-se circular precisa considerar a digitalização e as tecnologias da I4.0 em sua cadeia de valor.

No geral, o presente artigo apresentou algumas limitações referentes ao estudo de casos em que as empresas que agregam os pilares da Indústria 4.0 em seus processos conseguem migrar de uma economia linear para a economia circular e também se as mesmas obtiveram um ganho econômico e sustentável. Para futuros trabalhos sugere-se a pesquisa detalhada em casos do dia-a-dia para auxiliar futuras empresas e trabalhos acadêmicos.

REFERÊNCIAS

ANTONIO, Daniel Soares et al. A indústria 4.0 e seus impactos na sociedade. Revista Pesquisa e Ação, v. 4, n. 3, 2018.

BAI, Chunguang et al. Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. International journal of production economics, v. 229, p. 107776, 2020.

BOCKEN, Nancy MP; SCHUIT, Cheyenne SC; KRAAIJENHAGEN, Christiaan. Experimenting with a circular business model: Lessons from eight cases. Environmental innovation and societal transitions, v. 28, p. 79-95, 2018.

BRACCINI, Alessio Maria; MARGHERITA, Emanuele Gabriel. Exploring organizational sustainability of industry 4.0 under the triple bottom line: The case of a manufacturing company. *Sustainability*, v. 11, n. 1, p. 36, 2018.

DA SILVA, Larissa Ferreira et al. ECONOMIA CIRCULAR E INDÚSTRIA 4.0 NA AMÉRICA LATINA. *Anais do Simpósio Sul-Mato-Grossense de Administração*, v. 4, n. 4, p. 108-127, 2021.

DOMINGUES, ANA MARIELE et al. PRÁTICAS DE ECONOMIA CIRCULAR NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS-UMA ANÁLISE A PARTIR DE ESTUDO DE CASOS.

DOS REIS, Felipe Bastos; FERNANDES, Palloma Renny Beserra. A reutilização de resíduos sólidos na economia circular: estudo de caso no mercado de calçadista. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 5, p. 48456-48470, 2021.

GENARO, Carla Fernanda et al. Proposta de um framework conceitual teórico para a implementação de uma economia circular na indústria química por meio da indústria 4.0. 2022. *Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.*

GERMANO, Aline Xavier dos Santos; MELLO, José André Villas Boas; MOTTA, Wladimir Henriques. Contribuição das tecnologias da indústria 4.0 para a sustentabilidade: uma revisão sistemática. *Palavra chave*, v. 11, n. 1, p. 142-142, 2021.

LOPES DE SOUSA JABBOUR, Ana Beatriz 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, n. 1, p. 273-286, 2018.

MACARTHUR, Ellen et al. Towards the circular economy. *Journal of Industrial Ecology*, v. 2, n. 1, p. 23-44, 2013

OMETTO, Aldo Roberto et al. Economia Circular: Oportunidades e Desafios Para a Indústria Brasileira, 2018. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4914982/mod_resource/content/1/Economia%20Circular_CNI_2018.pdf. Acesso em: 29/06/2022

PASCHOALIN FILHO, João Alexandre; FRASSON, Sueli Aparecida; DE MELO CONTI, Diego. Economia Circular: estudo de casos múltiplos em usinas de reciclagem no manejo de resíduos da construção civil. *Desenvolvimento em Questão*, v. 17, n. 49, p. 136-157, 2019.

PEREIRA, Adriano; DE OLIVEIRA SIMONETTO, Eugênio. Indústria 4.0: conceitos e perspectivas para o Brasil. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, v. 16, n. 1, 2018.

PORTUGAL, Humana. Jornada técnica sobre a economia circular. *Humana Circular*, Palácio Valenças, Sintra, v. 7, 2019.

REDONDO, Allan Gabriel Silvatti; COSTA, Marcela Avelina Bataghin. Pilares tecnológicos da indústria 4.0, no desenvolvimento da uberização.

ROBLEK, Vasja; MEŠKO, Maja; KRAPEŽ, Alojz. A complex view of industry 4.0. *Sage open*, v. 6, n. 2, p. 2158244016653987, 2016.

SACOMANO, José Benedito et al. *Indústria 4.0*. Editora Blucher, 2018.

SANTOS, Beatrice Paiva et al. Indústria 4.0: desafios e oportunidades. *Revista Produção e Desenvolvimento*, v. 4, n. 1, p. 111-124, 2018.

SEPASGOZAR, Samad ME et al. Additive manufacturing applications for industry 4.0: A systematic critical review. *Buildings*, v. 10, n. 12, p. 231, 2020.

VAIDYA, Saurabh; AMBAD, Prashant; BHOSLE, Santosh. Industry 4.0—a glimpse. *Procedia manufacturing*, v. 20, p. 233-238, 2018.