

***Smart Factory* e a indústria 4.0: uma revisão sistemática de literatura**

Rodrigo Soares Lelis Gori⁽¹⁾ e
Deine Danielle Lelis Gori⁽²⁾

Data de submissão: 1º/2/2022. Data de aprovação: 15/3/2022.

Resumo – A mudança de uma fábrica tradicional para uma *Smart Factory* estimula o efeito profundo e duradouro da manufatura futura em todo o mundo. Como o coração da Indústria 4.0, a *Smart Factory* integra estruturas físicas com tecnologias dessa indústria, tornando-as mais precisas, com o propósito de melhorar o desempenho, qualidade, controle, gerenciamento e transparência dos processos de manufatura. Nessa perspectiva, o principal objetivo deste estudo é apresentar os desafios para implementação da *Smart Factory* no contexto da Indústria 4.0. Para o propósito desta pesquisa, foi elaborada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), metodologia que agrupa trabalhos anteriores sobre um tema específico, promovendo a identificação, a avaliação e a interpretação de estudos em uma determinada área por meio da análise de conceitos e práticas. Com base nos resultados obtidos, verificou-se que as principais indústrias começaram a jornada para implementar a *Smart Factory*, no entanto, a maioria ainda carece de compreensão sobre os desafios e recursos para implementá-la. *Smart Factory* não significa fábrica sem seres humanos, mas sim visa atender as necessidades individuais do mercado, tanto quanto possível, com custos razoáveis. Portanto, este artigo contribui para o corpo de conhecimento atual sobre a *Smart Factory*, identificando os seus requisitos e os principais desafios, investigando as principais tecnologias da Indústria 4.0 para implementação de uma *Smart Factory*, bem como também indicam os rumos de possíveis pesquisas futuras.

Palavras-chave: Fábrica Tradicional. Indústria 4.0. *Smart Factory*.

Smart Factory and industry 4.0: a systematic literature review

Abstract – The shift from a traditional factory to a Smart Factory stimulates the profound and lasting effect of future manufacturing across the world. As the heart of Industry 4.0, Smart Factory integrates physical structures with its technologies, making them more accurate, with the purpose of improving the performance, quality, control, management and transparency of manufacturing processes. From this perspective, the main objective of this study is to present the challenges for implementing the Smart Factory in the context of Industry 4.0. For the purpose of this research, a Systematic Literature Review (SLR) was prepared, which gathers previous works on a specific topic, promoting the identification, evaluation and interpretation of studies in a certain area through the analysis of concepts and practices. Based on the results obtained, it was found that the main industries started the journey to implement the Smart Factory, however, most still lack understanding about the challenges and resources to implement it. Smart Factory does not mean factory without human beings. Instead, Smart Factory aims to meet individual market needs as much as possible at reasonable costs. Therefore, this paper contributes to the current body of knowledge about the Smart Factory, identifying the requirements and the main challenges, investigating the main technologies of Industry 4.0 for the implementation of a Smart Factory, as well as indicating the directions of possible future research.

Keywords: Traditional Factory. Industry 4.0. Smart Factory.

¹ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS e graduado em Engenharia Elétrica. *rsgori@ifto.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1557-1255>.

² Graduada em Ciências Econômicas pela Universidade Federal do Tocantins – UFT. *ddlelis@ifto.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6235-3192>.

Introdução

Em um mundo em constante transformação, a atual globalização está causando um profundo processo de mudança na economia mundial. Nesse contexto, com o aumento da competitividade entre os países fabricantes, há uma necessidade premente de aplicar abordagens mais eficientes para tomar decisões inteligentes, visando otimizar diversos processos de produção para reduzir os custos nas fábricas (MOHAMED; AL-JAROODI; LAZAROVA-MOLNAR, 2019).

Porém, a comunicação entre um produto, um trabalhador e os diferentes operadores que atuam na cadeia de valor nas fábricas tradicionais costuma ser lenta e ineficiente. Outro problema comum nas fábricas tradicionais é a falta de rastreabilidade completa do produto e a falta de integração dos fluxos produtivos associados com os produtos. Em muitos casos, os operadores não sabem exatamente em que estágio de fabricação o produto se encontra ou onde está fisicamente localizado. Essa falta de rastreabilidade resulta em ineficiências e na ausência de conhecimento sobre quais tarefas estão realmente sendo executadas ou foram executadas na fábrica em instantes de tempo específicos (FERNANDEZ-CARAMES; FRAGA-LAMAS, 2018).

As fábricas tradicionais carecem de recursos de monitoramento e de controle da produção automatizada para produzir de forma eficiente e lucrativa (SHI *et al.*, 2021). A integração do sistema de produção, ciclo de vida do produto e cadeia de valor entre empresas é fraca (PARK, 2016). Como resultado, a reutilização de sistemas e a integração entre o sistema real e as representações do sistema virtual na produção tradicional é pobre (HARRISON; VERA; AHMAD, 2016). Portanto, a manufatura tradicional não consegue lidar com os desafios gerados por tecnologias de rápido crescimento

Dessa maneira, as fábricas tradicionais têm buscado aplicar estratégias para ajustar seu processo de fabricação quanto ao tipo de produto e a capacidade de produção em tempo real para lidar com pequenos lotes, customização personalizada e múltiplas variedades (JUNG *et al.*, 2017b; WAN *et al.*, 2016a). Logo, para atender a essas demandas, as fábricas devem ter funcionalidade, escalabilidade e conectividade suficientes com clientes e fornecedores (SHI *et al.*, 2021).

A transformação da fábrica tradicional para a fábrica inteligente (*Smart Factory*) estimula o efeito profundo e duradouro na produção futura em todo o mundo. Portanto, a mudança do modelo de fábrica tradicional para o modelo de *Smart Factory* é uma questão urgente. A principal forma de realizar a produção inteligente é estabelecer uma *Smart Factory* baseada nas tecnologias da Indústria 4.0, pois ela representa uma manufatura inteligente, onde máquinas e produtos interagem entre si sem controle humano (WAN *et al.*, 2018). Os autores Tortorella, Narayanamurthy e Thurer (2021) também afirmam que a principal forma de estabelecer uma *Smart Factory* é através das tecnologias da Indústria 4.0, pois com a utilização destas tecnologias, as empresas são conduzidas a novos padrões de desempenho.

Essencialmente, a Indústria 4.0 é uma estratégia que visa construir um sistema de comunicação entre equipamentos de produção e produtos baseado em tecnologia hiper conectada e visa integrar todos os processos de produção (ACETO; PERSICO; PESCAPÉ, 2020; CIVERCHIA *et al.*, 2017; PARK, 2016).

Desta forma, o objetivo da Indústria 4.0 é realizar ciclos de vida curtos do produto e customização em massa extrema de maneira econômica (VEZA; MLADINEO; GJELDUM, 2015). Ao lado da estratégia da Indústria 4.0 na Alemanha, outros países desenvolveram estratégias semelhantes, como Estados Unidos, Japão e China (SHI *et al.*, 2021). Essas estratégias visam criar um setor de fábricas com capacidade para competir no mercado global, criando produtos de alto valor agregado por meio da inovação de produtos e serviços (MABKHOT *et al.*, 2018).

A *Smart Factory* é uma iniciativa de tecnologia do governo alemão em 2010 com o objetivo de estabelecer uma manufatura comum para inovar nas técnicas de fabricação, portanto pode-se considerar que a *Smart Factory* é o coração da Indústria 4.0 (MABKHOT *et al.*, 2018; WAGIRE; RATHORE; JAIN, 2020). As principais indústrias começaram a jornada para a implementação da *Smart Factory*, no entanto, a maioria das fábricas ainda carece de compreensão sobre os desafios e recursos para implementá-la (SJÖDIN *et al.*, 2018). Portanto, este estudo passa a responder a seguinte questão de pesquisa: quais são os principais desafios para implementação da *Smart Factory* no contexto da Indústria 4.0?

A abordagem escolhida para responder a questão de pesquisa é uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), direcionada a identificar os principais desafios e as principais tecnologias habilitadoras que estão sendo utilizadas para implementação da *Smart Factory* no contexto da Indústria 4.0. Logo, este artigo fornece uma visão geral do atual corpo de conhecimento sobre a Indústria 4.0 e a *Smart Factory* em estudo, identifica as principais tecnologias da Indústria 4.0 para implementação de uma *Smart Factory*, identifica os principais desafios para as empresas implementarem a *Smart Factory* no contexto da Indústria 4.0 e gera uma agenda para pesquisas.

Indústria 4.0

Indústria 4.0 refere-se ao próximo estágio na evolução da organização e controle dos processos de manufatura. O termo Indústria 4.0 vem, na verdade, de um projeto financiado pelo governo alemão (FERNANDEZ-CARAMES; FRAGA-LAMAS, 2018), que teria sido divulgado pela primeira vez durante a Feira de Hannover de 2011 (FERNANDEZ-CARAMES; FRAGA-LAMAS, 2018). O termo foi recebido com entusiasmo pela indústria mundial e se sobrepõe em parte a outros paradigmas como a internet das coisas (IoT) e a outras iniciativas (XU; HE; LI, 2014).

Além disso, a expressão Indústria 4.0 define a próxima etapa dos sistemas industriais, nos quais processos em rede, automatizados e inteligentes serão flexíveis e autoconfiguráveis, melhorando a eficiência e possibilitando a criação de novas fontes de receita (DALENOGARE *et al.*, 2018; SCHNEIDER, 2018; WANG *et al.*, 2017b). Esses processos se desenvolverão por meio de uma combinação de tecnologias digitais e de manufatura, que permitem a integração vertical dos sistemas da organização, integração horizontal em redes colaborativas e soluções ponta a ponta em toda a cadeia de valor (OZTEMEL; GURSEV, 2018).

Ao agregar inteligência a máquinas, ferramentas, áreas de armazenamento ou matérias-primas de uma cadeia produtiva, é possível adaptar a fábrica às mudanças, proporcionando flexibilidade para atender as necessidades industriais e do cliente. Além disso, tal flexibilidade permite a fabricação de produtos altamente customizados e a adaptação à demanda real, evitando o armazenamento de muito estoque ou sua escassez (FERNANDEZ-CARAMES; FRAGA-LAMAS, 2018).

Para alcançar todos os benefícios, a Indústria 4.0 propõe o uso de diferentes tecnologias. Algumas delas vêm sendo estudadas há muito tempo (FERNANDEZ-CARAMES; FRAGA-LAMAS, 2018), mas ainda não estão maduras para uma implantação industrial massiva (BLANCO-NOVOA *et al.*, 2018; FRAGA-LAMAS *et al.*, 2018). Não obstante, o que torna essas tecnologias disruptivas é o fato de que elas são capazes de se comunicar entre si de forma autônoma, permitindo que coordenem umas com as outras e com outros sistemas remotos na Internet (FERNANDEZ-CARAMES; FRAGA-LAMAS, 2018).

Logo, a Indústria 4.0 impulsiona a construção de uma plataforma de manufatura inteligente e aberta para aplicação de dados e de informações em rede industriais (BAHRIN *et al.*, 2016), bem como o monitoramento de dados e informações em tempo real, rastreando o *status* e as posições do(s) produto(s) no ambiente produtivo (ALMADA-LOBO, 2015). Portanto, diante do exposto, os autores concordam que I4.0 refere-se à integração entre tecnologias direcionadas a automatizar e controlar a cadeia de valor.

Smart Factory

A *Smart Factory* está no coração da Indústria 4.0 (HERRMANN, 2018). Um número considerável de autores define *Smart Factory* sob várias perspectivas. No entanto, não existe uma definição consistente e compartilhada de *Smart Factory* (SHI *et al.*, 2021).

Muitas das definições são da perspectiva da produção inteligente centrada em sistemas ciberfísicos (CPS). Por exemplo, Park (2016) define *Smart Factory* como um sistema de manufatura integrado baseado em rede hiperconectado que adquire todas as informações sobre instalações de manufatura em tempo real por meio da Internet, muda autonomamente um método de manufatura, substitui matérias-primas e implementa um sistema de produção dinâmico otimizado. Para Frank (2018), *Smart Factory* trata de máquinas e sistemas em rede por meio de softwares, para que a comunicação inteligente entre si seja possível e as etapas de trabalho sejam coordenadas automaticamente entre si. Wang *et al.* (2016) definem *Smart Factory* como um CPS de manufatura que integra objetos físicos, como máquinas, esteiras transportadoras e produtos com sistemas de informação, como sistemas de execução de manufatura e planejamento de recursos empresariais, para implementar uma produção ágil e flexível. De acordo com Chen *et al.* (2017), a *Smart Factory* é um sistema de produção inteligente que integra o processo de comunicação, o processo de computação e o processo de controle na fabricação e serviços para atender às demandas industriais. Sjödin *et al.* (2018) definem *Smart Factory* como um sistema de manufatura conectado e flexível que usa um fluxo contínuo de dados de operações conectadas e sistemas de produção para aprender e se adaptar a novas demandas. Wang *et al.* (2018) definem *Smart Factory* como um sistema de manufatura assistido por nuvem e auto-organizado, no qual entidades físicas organizam a produção por meio de negociação inteligente e a nuvem supervisiona esse processo para detecção de falhas e solução de problemas com base na análise de dados.

O objetivo da *Smart Factory* é aumentar a reutilização de processos sistemáticos e melhorar a compreensibilidade de estruturas complexas em processos de manufatura (CADAVID *et al.*, 2015). Apesar das várias definições, a *Smart Factory* visa construir um CPS orientado para a manufatura, para implementar a integração vertical de entidades físicas e sistemas de informação, com o intuito de tornar a produção extremamente flexível com processos de produção auto adaptáveis com máquinas e produtos que agem de forma inteligente e autônoma, para que resultados positivos possam ser finalmente alcançados (BRECHER *et al.*, 2017; CHEN *et al.*, 2017; SHI *et al.*, 2021; WANG *et al.*, 2017a).

Materiais e métodos

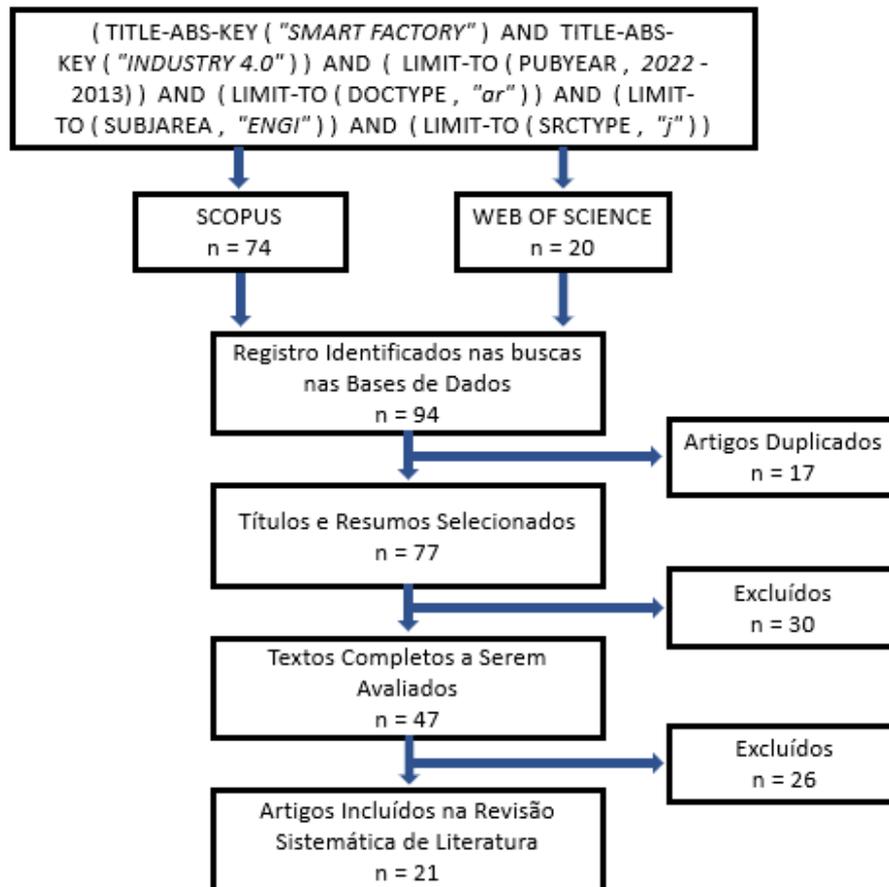
Para o propósito deste estudo, foi elaborada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), que agrupa trabalhos anteriores sobre um tema específico, promovendo a identificação, a avaliação e a interpretação de estudos em uma determinada área por meio da análise de conceitos e práticas. Para condução, aplicamos a estratégia do *Literature Grounded Theory* (LGT), proposto por Ermel (2021), com as seguintes etapas: revisão da literatura, análise da literatura, síntese da literatura e resultado.

Iniciamos com a etapa de seleção do portfólio bibliográfico, para a revisão da literatura, definindo as expressões de busca. Na sequência, foram definidas as bases de dados para realizar a busca dos artigos: a *Scopus* e a *Web of Science*. Foram escolhidas estas bases por serem relevantes ao contexto internacional e eletrônico de publicações científicas e por fornecerem acesso rápido aos principais dados de citações em todo mundo, possuindo ferramentas inteligentes para rastrear, analisar e visualizar pesquisas (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015).

A pesquisa para selecionar o portfólio foi realizada em publicações dos anos de 2011 a 2021, do período temporal que se justifica-pelo fato de 2011 ser o ano em que o termo “Indústria 4.0” surgiu na Alemanha (ACETO; PERSICO; PESCAPÉ, 2020; FERNANDEZ-CARAMES;

FRAGA-LAMAS, 2018; GHOBAKHLOO; FATHI, 2019; GRABOWSKA, 2020; LUGERT; BATZ; WINKLER, 2018; WAGIRE; RATHORE; JAIN, 2020). A literatura foi reunida usando os seguintes critérios: I) emprego dos termos "smart factory" e "industry 4.0", no *Article title*, *Abstract*, *Keywords* da base de dados; II) selecionado artigos publicados e revisados por pares, buscando assim garantir a qualidade dos estudos primários escolhidos; III) filtrado para artigos publicados na área de estudo "Engineering". Em seguida, os artigos foram verificados quanto a duplicidades, seguido por uma inspeção dos títulos, palavras-chaves e resumos. Depois os estudos potencialmente relevantes foram analisados em profundidade e aqueles em conformidade com o escopo da pesquisa foram selecionados para revisão, como apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Etapas de seleção do portfólio bibliográfico



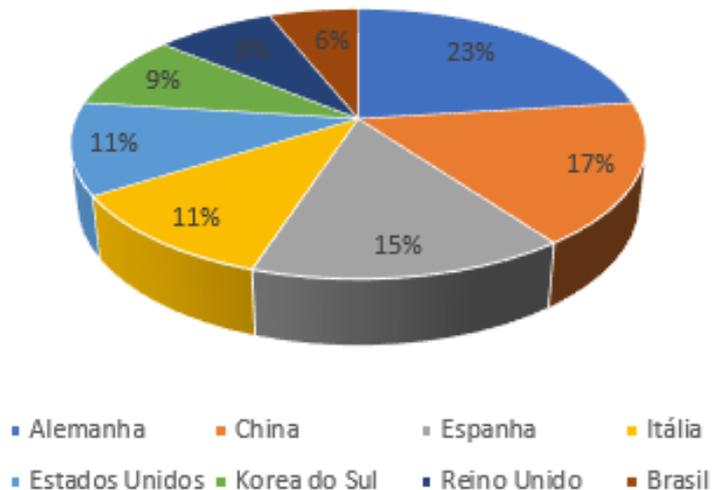
Fonte: Elaborado pelos Autores (2021)

De 2011 a 2021, a busca encontrou 94 resultados, sendo 74 na base de dados *Scopus* e 20 na base de dados *Web of Science*, porém, destes, 17 resultados apresentaram duplicidade. Assim, foram analisados 77 resultados ao total. O próximo passo foi a leitura do título, palavras-chave e resumo dos documentos. O *software* escolhido para auxiliar esta etapa foi o *StArt*. Do total de textos, 47 enquadravam-se aos critérios de inclusão e exclusão, que foram: documentos que continham as tecnologias da Indústria 4.0 e documentos que continham as principais etapas para as empresas implementarem a *Smart Factory* no contexto da Indústria 4.0. Do total de textos incluídos na análise da literatura, 26 foram excluídos por não atenderem a questão de pesquisa e o objetivo deste estudo, sobrando 21 documentos relevantes coletados e analisados na revisão sistemática.

As análises bibliométrica e cientométrica analisaram os dados das produções científicas identificadas dentro do período temporal utilizado para busca (2011-2021), onde constatou-se

que o número de publicações era discreto até 2017. Após 2017, o número de publicações apresentou um crescimento constante e significativo no volume de publicações sobre o tema. As regiões que apresentaram número significativo em relação a quantidade de publicações foram Alemanha, China, Espanha, Itália, Estados Unidos, Korea do Sul, Reino Unido e Brasil, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Quantidade de publicações *Smart Factory* e Indústria 4.0



Fonte: Elaborado pelos Autores (2021)

Estudos na *Smart Factory*

Dado o papel da *Smart Factory* na Indústria 4.0, os autores têm explorado as suas aplicações a partir de uma perspectiva complexa nos últimos anos (SHI *et al.*, 2021). A seguir, tem-se um resumo do conhecimento atual sobre a *Smart Factory* em estudo. Paelke (2014) apresenta um sistema de realidade aumentada que oferece suporte a trabalhadores humanos em um ambiente de produção em rápida mudança em uma *Smart Factory*. Cadavid *et al.* (2015) propõem uma agenda de pesquisa para integrar as principais técnicas de engenharia orientadas a modelos na manufatura para *Smart Factory*. Aversa *et al.* (2016) desenvolvem estratégias de otimização de processos e algoritmos de controle inteligente para uma produção industrial de tubos centrífugos no contexto de uma *Smart Factory*. Harrison *et al.* (2016) realizaram a revisão de algumas das limitações comuns na engenharia de sistemas de automação existente e apresentaram novas abordagens emergentes, incluindo as ferramentas de engenharia CPS sendo desenvolvidas pelo grupo de sistemas de automação. Ivanov *et al.* (2016) apresentam um modelo dinâmico e um algoritmo para agendamento da cadeia de suprimentos de curto prazo na *Smart Factory*. Kang *et al.* (2016) desenvolvem um modelo de previsão de desempenho de um sistema de rastreabilidade usando *big data* e internet das coisas (IoT) para promover a operação de sistemas de rastreabilidade estáveis e escaláveis para a cadeia de suprimentos em fábrica inteligente

Li (2016) descreve a perspectiva de tecnologia e o projeto e a estrutura de uma *Smart Factory* na indústria petroquímica com CPS. Park (2016) identifica os fatores de sucesso que são críticos para a introdução bem sucedida da *Smart Factory* conectada. Prinz *et al.* (2016) apresentam uma variedade de módulos de aprendizagem para a *Smart Factory* na Indústria 4.0, descrevendo um novo perfil de trabalho dos funcionários e discutindo exaustivamente os vários módulos de aprendizagem com seus objetivos de aprendizagem individuais e cenários mapeados. Wang *et al.* (2016b) apresentam uma estrutura de *Smart Factory* que incorpora rede industrial, nuvem e terminais de controle de supervisão com objetos de chão de fábrica. A tomada de decisão distribuída e os mecanismos de negociação inteligente são cuidadosamente projetados para implementar um sistema de manufatura auto-organizado.

Chen *et al.* (2017) propõem uma arquitetura hierárquica de *Smart Factory* e analisam as principais tecnologias a partir dos aspectos da camada de recursos físicos, da camada de rede e da camada de aplicação de dados. Hwang *et al.* (2017) desenvolveram um modelo de desempenho baseado em IoT consistente com os padrões ISA-95 e ISO-22400 para medição de desempenho em tempo real na *Smart Factory*. Jung *et al.* (2017a) apresentam um modelo padrão e holístico para descrever as atividades, sua inter-relação e melhorar o design da atividade para a *Smart Factory*. Longo *et al.* (2017) propõem uma abordagem centrada no ser humano junto com sua implementação a fim de aprimorar as capacidades/competências dos operadores na *Smart Factory*. Syberfeldt *et al.* (2017) apresentam um processo passo a passo para avaliar e selecionar os óculos inteligentes de realidade aumentada (ARSG) para o contexto do chão de fábrica, bem como uma revisão abrangente dos produtos disponíveis no mercado.

Chekired *et al.* (2018) propõem uma arquitetura de névoa para aplicativos e apresentam um modelo de agendamento para processamento de dados em IoT. Ghobakhloo e Ching (2019) argumenta que a *Smart Factory* deve mudar completamente seus processos tradicionais e modelos de gestão por meio de auto-otimização, auto-adaptação e produção automática. Sjödin *et al.* (2018) identificam os principais desafios relacionados à implementação da *Smart Factory*. Por fim, Wan *et al.* (2019) propõem uma arquitetura baseada em *blockchain* para aumentar a segurança e a privacidade na fábrica inteligente.

Principais tecnologias indústria 4.0 para implantação de uma *Smart Factory*

Por meio de estudos empíricos sobre várias tecnologias relacionadas à Indústria 4.0 e *Smart Factory*, cinco tecnologias essenciais foram apresentadas como parte dessa associação, sendo elas: sistema ciberfísico (CPS), internet das coisas (IoT), *big data*, *big data analytics* e *cloud computing* (KO; KIM; LEE, 2020), as quais serão analisadas em mais detalhes nesta seção.

O termo CPS foi cunhado em 2006 pela Diretora do Programa de Sistemas Incorporados e Híbridos da *National Science Foundation* e se refere a uma combinação de sistemas físicos e cibernéticos (LEE, 2015). Os dois sistemas - o físico e o virtual - funcionam como se fossem um, de forma que tudo o que acontece no sistema físico impacta no sistema virtual e vice-versa (LEE, 2010). O CPS envolve a interação de três elementos: sistemas embarcados, redes de comunicação e sua conexão pela internet e pessoas. A pesquisa sobre CPS está em um estágio inicial, com foco em conceitos, arquitetura e modelagem, e ainda mostra poucos casos reais de aplicação (LEE, 2015). O CPS pode ser usado em uma ampla gama de indústrias (LEE, 2015). Na manufatura, envolvem todos os elementos físicos - peças, componentes e produtos acabados - que também têm uma representação virtual nos sistemas de produção (KLINGENBERG; BORGES; ANTUNES, 2021).

A segunda tecnologia é a IoT. Assim como o CPS, a IoT também é frequentemente citada como sinônimo de Indústria 4.0. O termo se refere à conexão de um número infinito de "coisas" e objetos na rede, de modo que cada um tenha sua própria identidade e pode ser conectado de forma permanente ou intermitente. Wang *et al.* (2017b) afirmam que a IoT pode ser considerada como uma rede onde os CPS interagem uns com os outros por meio de esquemas de endereçamento únicos. Já vislumbrando a evolução da versão do protocolo da Internet, o conceito de IoT foi documentado pela primeira vez em 2002. O conceito se espalhou rapidamente (Mattern e Floerkemeier, 2010). Como o CPS, a IoT pode ser aplicada em uma ampla gama de setores. Na manufatura, sua aplicação permite que as máquinas se comuniquem entre si e com os produtos (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010).

A terceira e a quarta tecnologias possuem uma relação muito próxima: *big data* e *big data analytics*. O conceito de *big data* representa a grande quantidade de dados, estruturados e não estruturados, de máquinas, produtos, componentes e pessoas (KLINGENBERG; BORGES; ANTUNES, 2021).

Big data é um tópico relativamente novo na academia e no mundo dos negócios. Por esse motivo, os conceitos que o norteiam ainda não estão totalmente claros, nem seus limites estão bem estabelecidos (GANDOMI; HAIDER, 2015; PROVOST; FAWCETT, 2013). Apesar da falta de uma definição universalmente aceita, o impacto potencial nos negócios foi amplamente discutido nos últimos anos (AKTER *et al.*, 2016; FOSSO WAMBA *et al.*, 2015; GANDOMI; HAIDER, 2015).

Big data analytics, como o próprio nome sugere, trata da análise de grandes quantidades de dados gerados por equipamentos, máquinas, componentes, produtos e pessoas conectados. *Analytics* consiste em usar algoritmos para encontrar padrões e informações relevantes nos dados (KLINGENBERG; BORGES; ANTUNES, 2021). Tem como característica a utilização de técnicas estatísticas, bem como regras, heurísticas e modelagem (PROVOST; FAWCETT, 2013).

A computação em nuvem (*cloud computing*) emergiu como a quinta tecnologia essencial para implementação de uma *Smart Factory* no contexto da Indústria 4.0. Badger *et al.* (2012) definem esta tecnologia como um modelo para permitir o acesso conveniente à rede sob demanda a um pool compartilhado de recursos de computação configuráveis (por exemplo, redes, servidores, armazenamento, aplicativos e serviços) que podem ser rapidamente provisionados e liberados com mínimo esforço de gerenciamento ou interação com o provedor de serviços.

A definição destaca a relevância do conceito para a Indústria 4.0. O principal motivo é que as decisões descentralizadas e os processos de autoconfiguração exigiriam muito investimento em ativos locais e não seriam praticáveis sem a nuvem (KLINGENBERG; BORGES; ANTUNES, 2021). Portanto, agrupar essas tecnologias por suas funções relacionadas aos dados e estabelecer relacionamentos entre elas pode ser útil.

Resultados e discussões

Desafios para implementação de uma *Smart Factory*

A *Smart Factory* será centrada no ser humano baseada em padrões e semanticamente dissociada. Deve ser altamente adaptável, reconfigurável, confiável e precisamente rastreável ao longo e além da cadeia de produção (CADAVID *et al.*, 2015; CHEN *et al.*, 2017). A implementação da *Smart Factory* deve levar em consideração a modularidade, descentralização, virtualização, orientação para serviços e capacidade em tempo real (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

Nessa perspectiva, os funcionários geralmente não têm uma visão comum e uma compreensão da implementação de uma *Smart Factory*, se sentindo inseguros sobre os benefícios da *mesma* (SJÖDIN *et al.*, 2018). A *Smart Factory* contém sistemas de produção altamente automatizados e orientados por Tecnologia de Informação (JUNG *et al.*, 2017a), devendo integrar verticalmente o sistema de produção, produção customizada e ciclo de vida do produto e integrar horizontalmente a cadeia de valor entre as empresas e a rede de informações (PARK, 2016).

Portanto, a *Smart Factory* requer alguns elementos chave, incluindo máquinas e ferramentas modulares ou estações de trabalho, força de trabalho polivalente, acessórios e ferramentas reconfiguráveis, infraestrutura e comunicação padrão, personalização e capacidade em tempo real, monitoramento online e controle. Esses elementos requerem um grande investimento. Portanto, o custo de implementação da *Smart Factory* é alto (MABKHOT *et al.*, 2018).

Muitos problemas técnicos precisam ser corrigidos para acelerar a implementação da *Smart Factory*. As contradições entre o rápido crescimento de equipamentos inteligentes e largura de banda limitada de redes industriais tornam-se proeminentes na *Smart Factory* (KONG *et al.*, 2016). Além disso, um grande volume de dados do sensor em tempo real e não

estruturados são gerados na *Smart Factory*. Esses dados não podem ser utilizados diretamente devido à alta dimensão, métrica variável e alto ruído (CHEN *et al.*, 2017). Grande espaço de armazenamento, aquisição eficiente de dados, capacidade de análise rápida e rede de alta largura de banda são requisitos fundamentais para o controle de qualidade do produto e manutenção ativa na *Smart Factory* (SONG *et al.*, 2017; WANG *et al.*, 2017a)

A *Smart Factory* precisa integrar dados em cadeias de suprimentos, dados de produtos e dados logísticos na plataforma de serviço (SHI *et al.*, 2021). De acordo com Xu e Hua (2017), melhorar o desempenho da *Smart Factory* usando análises de big data é bastante desafiador. Além disso, os fabricantes tradicionais, especialmente os de pequeno e médio porte, carecem de recursos para o desenvolvimento de *software*. Alguns fabricantes crescem por meio de aquisições, que geram bancos de dados e sistemas de *software* misturados e heterogêneos (SHI *et al.*, 2021).

Também existem desafios estruturais. A *Smart Factory* precisa alcançar a reutilização de processos sistemáticos e melhorar a compreensibilidade de estruturas complexas (CADAVID *et al.*, 2015). Portanto, implementar a *Smart Factory* requer melhorar a produção e o marketing, melhorando o controle do processo de produção e reduzindo a intervenção manual na oficina (SHI *et al.*, 2021). Rotinas e processos de trabalho tradicionais precisam ser alterados na transformação digital (SJÖDIN *et al.*, 2018).

As características de fabricação para atender às necessidades de mercado em rápida mudança devem ser levadas em consideração (WANG *et al.*, 2018). Além disso, os talentos compostos, a cooperação em vários campos, o status quo e os requisitos de fabricação também devem ser levados em consideração, além disso, a cadeia de suprimentos precisa ser integrada à engenharia, marketing e vendas (CHEN *et al.*, 2017). De acordo com Ivanov *et al.* (2016), a programação da cadeia de suprimentos de curto prazo na *Smart Factory* é desafiada por estruturas temporais da máquina, diferentes velocidades de processamento em máquinas paralelas e chegadas dinâmicas de empregos.

Por fim, em comparação com as fábricas tradicionais, a *Smart Factory* apresenta maiores riscos de segurança. Devido às limitações da arquitetura na *Smart Factory* e às vulnerabilidades dos equipamentos subjacentes, uma grande quantidade de segurança crítica e dados privados são vulneráveis a ataques. Há uma necessidade urgente de melhorar a segurança e a privacidade na *Smart Factory* (WAN *et al.*, 2019).

Novas tecnologias para *Smart Factory*

O rápido desenvolvimento das tecnologias da informação trouxe oportunidades para a *Smart Factory* (SHI *et al.*, 2021). Existem algumas plataformas IoT industriais maduras atendendo *Smart Factory*, como *Siemens MindSphere*, *Schneider EcoStruxure* e *GE Predix* (CHEN *et al.*, 2017). Essas plataformas realizam a integração vertical, integração horizontal e integração ponta a ponta e ainda quebram o problema da ilha isolada de informações do equipamento e realizam a integração do equipamento na *Smart Factory* (WAN *et al.*, 2019).

A tecnologia D2D torna a comunicação entre dispositivos mais eficiente e expande a capacidade da rede. A computação de borda denota uma plataforma aberta com muitos recursos, como rede, computação, armazenamento e aplicativo. Ele pode fornecer conexão ágil, processamento em tempo real, limpeza de dados e proteção de privacidade para *Smart Factory* (DASTJERDI *et al.*, 2016). O equipamento de fabricação pode ser equipado com as habilidades de computação de ponta, percepção do ambiente e coordenação entre equipamentos. Portanto, a computação de borda pode equipar o sistema terminal com capacidade de tomada de decisão e autonomia (CHEN *et al.*, 2017).

Outras novas tecnologias, como análise de *big data* e tecnologia de simulação, também podem ser aplicadas às atividades operacionais de *Smart Factory*. A indústria de manufatura continuará avançando com o desenvolvimento da Indústria 4.0. Logo, a *Smart Factory* inspira pequenas e médias empresas a projetar ou redesenhar a fábrica por meio de simulação e

desenvolver soluções em um ambiente colaborativo (JERMAN; ERENDA; BERTONCELJ, 2019).

Considerações finais

Nas últimas duas décadas, o desenvolvimento tecnológico ajudou as organizações industriais a lidarem com a necessidade de se tornarem mais competitivas. Para fornecer produtos com custos reduzidos e com maior qualidade, a maneira como os bens são produzidos e os serviços oferecidos estão sofrendo drásticas alterações.

Diante desse recente desenvolvimento tecnológico, este artigo contribui para o corpo de conhecimento atual sobre a *Smart Factory*, identificando os requisitos e os principais desafios, investigando as principais tecnologias da Indústria 4.0 para implementação de uma *Smart Factory*, novas tecnologias disponíveis e revisando os estudos existentes que foram feitos para a *Smart Factory* no contexto da indústria 4.0.

A Indústria 4.0 explora novas tecnologias integradas e conectadas para lidar com os desafios (ATHINARAYANAN *et al.*, 2019). Ela integra o fluxo de dados horizontalmente entre parceiros, fornecedores e clientes, bem como os quadros das organizações verticalmente, desde o desenvolvimento até o produto final (ELVIS HOZDIĆ, 2015). A Indústria 4.0 facilita a *Smart Factory* por meio do CPS, criando uma cópia virtual do mundo físico e tomando decisões descentralizadas (HARRISON; VERA; AHMAD, 2016).

Smart Factory não significa fábrica sem seres humanos. Em vez disso, a *Smart Factory* visa atender as necessidades individuais do mercado, tanto quanto possível, com investimentos e custos compatíveis. Consequentemente, a tendência de desenvolvimento da *Smart Factory* é a cooperação homem-máquina. Ao fazer isso, a flexibilidade humana e a repetibilidade da máquina podem ser bem combinadas. Nesse cenário, os seres humanos ainda controlam a tomada de decisões em aspectos essenciais (SHI *et al.*, 2021).

Portanto, todos os equipamentos e instrumentos serão inteligentes na futura *Smart Factory*. Cada dispositivo terá sua própria operação. Como resultado, eles serão capazes de cooperar para controlar e despachar equipamentos de forma inteligente sem intervenção manual. Independentemente do equipamento ou do instrumento, seus métodos de gerenciamento e manutenção evoluirão do reparo passivo para o reparo ativo por provedores de serviços terceirizados baseados em IoT.

Como a *Smart Factory* tem uma rede sem fio protegida, as pessoas não precisam interferir no processo de produção em circunstâncias normais. Embora ainda sejam necessários operadores manuais para intervir em situações excepcionais e emergências. O sistema de controle inteligente será descentralizado com equipamentos e instrumentos distribuídos próximo ao controlador para o controle do processo de produção.

Big data será amplamente utilizado na *Smart Factory*. As técnicas de *big data* revolucionarão vários setores na próxima década. A *Smart Factory* deve inserir uma grande quantidade de dados nas máquinas que podem continuamente aprender e otimizar os parâmetros por si mesmas. Assim, a *Smart Factory* terá um papel maior com mais aprendizado de máquina e recursos de processamento de *big data*.

A *Smart Factory* do futuro se integrará a novas tecnologias, como realidade virtual e *big data*. Logo, a implementação da *Smart Factory* será complexa porque não apenas os campos tradicionais (mecânico, eletrônico, automação), mas também as tecnologias emergentes (realidade virtual e *big data*) estarão envolvidos.

Portanto, formular e se adaptar às mudanças é uma atividade de longo prazo que requer muitos gastos materiais e financeiros. Isso aumenta a necessidade de pesquisas futuras sobre os problemas de criação da *Smart Factory*, especialmente focadas em formas de rede de cooperação entre empresas orientadas para o cliente que operam na era do conceito da Indústria 4.0.

Referências

ACETO, G.; PERSICO, V.; PESCAPÉ, A. Industry 4.0 and Health: Internet of Things, Big Data, and Cloud Computing for Healthcare 4.0. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 18, n. February, p. 100129, 2020.

AKTER, S.; PERSICO, V.; PESCAPÉ, A. How to improve firm performance using big data analytics capability and business strategy alignment? **International Journal of Production Economics**, v. 182, p. 113–131, 2016.

ALMADA-LOBO, F. The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). **Journal of Innovation Management**, v. 4, p. 16–21, 2015.

ATHINARAYANAN, R.; NEWELL, B.; GARCIA, J.; OSTANEK, J.; DIAO, X.; SUNDARARAJAN, R.; ZHANG, H.; RICHARDS, G. Learning in Context with Horizontally & Vertically Integrated Curriculum in a Smart Learning Factory. **Procedia Manufacturing**, v. 31, p. 91–96, 2019.

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. **Computer Networks**, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010.

AVERSA, R. PETRESCU, R.; PETRESCU, F.; APICELLA, A. Smart-factory: Optimization and process control of composite centrifuged pipes. **American Journal of Applied Sciences**, v. 13, n. 11, p. 1330–1341, 2016.

BADGER, L.; PATT-CORNER, R.; VOAS, J. **Cloud Computing Synopsis and Recommendations Recommendations of the National Institute of Standards and Technology**. Disponível em: <<http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-146/sp800-146.pdf>>. Acesso em: 25 dez. 2021.

BAHRIN, M.; OTHMAN, M.; AZLI, N.; TALIB, M. Industry 4.0: A Review on Industrial Automation and Robotic. **Jurnal Teknologi**, v. 78, p. 2180–3722, 2016.

BLANCO-NOVOA, O.; FERNANDEZ-CARAMES, T.; FRAGA-LAMAS, P.; VILAR-MONTESINOS, M. A Practical Evaluation of Commercial Industrial Augmented Reality Systems in an Industry 4.0 Shipyard. **IEEE Access**, v. 6, p. 8201–8218, 2018.

BRECHER, C.; ECKER, C.; HERFS, W.; OBDENBUSCH, M.; JESCHKE, S.; HOFFMANN, M.; MEISEN, T. Chapter 21 - The Need of Dynamic and Adaptive Data Models for Cyber-Physical Production Systems. In: SONG, H. *et al.* (Eds.). **Intelligent Data-Centric Systems**. Boston: Academic Press, 2017. p. 321–338.

CADAVID, J.; ALFÉREZ, M.; GÉRARD, S.; TESSIER, P. **Conceiving the Model-Driven Smart Factory**. ACM International Conference Proceeding Series. **Anais** 2015.

CHEKIREN, D. A.; KHOUKHI, L.; MOUFTAH, H. T. Industrial IoT Data Scheduling Based on Hierarchical Fog Computing: A Key for Enabling Smart Factory. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 14, n. 10, p. 4590–4602, 2018.

CHEN, B.; WAN, J.; SHU, L.; LI, P.; MUKHERJEE, M.; YIN, B. Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges. **IEEE Access**, v. 6, p. 6505–6519, 2017.

CIVERCHIA, F.; BOCCHINO, S.; SALVADORI, C.; ROSSI, E.; MAGGIANI, L.; PETRACCA, M. Industrial Internet of Things monitoring solution for advanced predictive maintenance applications. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 7, p. 4–12, 2017.

DALENOGARE, L.; BENITEZ, G.; AYALA, N.; FRANK, A. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. **International Journal of Production Economics**, v. 204, n. December 2017, p. 383–394, 2018.

DASTJERDI, A.; GUPTA, H.; CALHEIROS, R.; GHOSH, S.; BUYYA, R. Chapter 4 - Fog Computing: principles, architectures, and applications. In: BUYYA, R.; VAHID DASTJERDI, A. B. T.-I. OF T. (Eds.) Morgan Kaufmann, 2016. p. 61–75.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES, J. A. V. J. **Design Science Research Método de Pesquisa para Avanço da Ciência e Tecnologia**. 1ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ELVIS HOZDIĆ. Smart factory for industry 4.0: a review. **International Journal of Modern Manufacturing Technologies**, v. VII, n. 1, p. 28–35, 2015.

ERMEL, A.; LACERDA, D.; MORANDI, M.; GAUSS, L. **Literature Reviews - Modern Methods for Investigating Scientific and Technological Knowledge**. 1ª ed. Cham - Suíça: Springer, 2021.

FERNANDEZ-CARAMES, T. M.; FRAGA-LAMAS, P. A Review on Human-Centered IoT-Connected Smart Labels for the Industry 4.0. **IEEE Access**, v. 6, p. 25939–25957, 2018.

FOSSO WAMBA, S. AKTER, S.; EDWARDS, A.; CHOPIN, G.; GNANZOU, D. How ‘big data’ can make big impact: Findings from a systematic review and a longitudinal case study. **International Journal of Production Economics**, v. 165, p. 234–246, 2015.

FRAGA-LAMAS, P.; FERNÁNDEZ-CARAMÉS, T.; BLANCO-NOVOA, Ó.; VILAR-MONTESINOS, M. A Review on Industrial Augmented Reality Systems for the Industry 4.0 Shipyard. **IEEE Access**, v. 6, p. 13358–13375, 2018.

GANDOMI, A.; HAIDER, M. Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics. **International Journal of Information Management**, v. 35, n. 2, p. 137–144, 2015.

GHOBAKHLOO, M.; CHING, N. T. Adoption of digital technologies of smart manufacturing in SMEs. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 16, n. June, p. 100107, 2019.

GHOBAKHLOO, M.; FATHI, M. Corporate survival in Industry 4.0 era: the enabling role of lean-digitized manufacturing. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 31, n. 1, p. 1–30, 2019.

GRABOWSKA, S. Smart Factories in the Age of Industry 4.0. **Management Systems in Production Engineering**, v. 28, p. 90–96, 2020.

HARRISON, R.; VERA, D.; AHMAD, B. Engineering the Smart Factory. **Chinese Journal of Mechanical Engineering (English Edition)**, v. 29, n. 6, p. 1046–1051, 2016.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. **Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios**. 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS). **Anais 2016**

HERRMANN, F. The Smart Factory and its Risks. **MDPI**, v. 38, p. 1–15, 2018.

HWANG, G.; LEE, J.; PARK, J.; CHANG, T. Developing performance measurement system for Internet of Things and smart factory environment. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 9, p. 2590–2602, 3 maio 2017.

IVANOV, D.; DOLGUI, A.; SOKOLOV, B.; WERNER, F.; IVANOVA, M. A dynamic model and an algorithm for short-term supply chain scheduling in the smart factory industry 4.0. **International Journal of Production Research**, v. 54, n. 2, p. 386–402, 17 jan. 2016.

JERMAN, A.; ERENDA, I.; BERTONCELJ, A. The Influence of Critical Factors on Business Model at a Smart Factory: A Case Study. **Business Systems Research**, v. 10, n. 1, p. 42–52, 2019.

JUNG, K.; CHOI, S.; KULVATUNYOU, B.; CHO, H.; MORRIS, K. A reference activity model for smart factory design and improvement. **Production Planning & Control**, v. 28, n. 2, p. 108–122, 25 jan. 2017a.

JUNG, S.; PARK, K.; ROH, H.; YUNE, S.; LEE, G.; CHUN, K. Research trends in studies of medical students' characteristics: A scoping review. **Korean Journal of Medical Education**, v. 29, n. 3, p. 137–152, 2017b.

KANG, Y. S.; PARK, I. H.; YOUM, S. Performance prediction of a MongoDB-Based traceability system in smart factory supply chains. **Sensors (Switzerland)**, v. 16, n. 12, p. 1–14, 2016.

KLINGENBERG, C. O.; BORGES, M. A. V.; ANTUNES, J. A. V. Industry 4.0 as a Data-Driven Paradigm: A Systematic Literature Review on Technologies. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 32, n. 3, p. 570–592, 2021.

KO, M.; KIM, C.; LEE, S. An Assessment of Smart Factories in Korea: An Exploratory Empirical Investigation. **MDPI**, v. 10, p. 1–15, 2020.

KONG, L.; ZHANG, D.; HE, Z.; XIANG, Q.; WAN, J.; TAO, M. Embracing big data with compressive sensing: a green approach in industrial wireless networks. **IEEE Communications Magazine**, v. 54, n. 10, p. 53–59, 2016.

LEE, E. A. **CPS foundations**. Proceedings - Design Automation Conference. **Anais 2010**

LEE, E. A. The past, present and future of cyber-physical systems: A focus on models. **Sensors (Switzerland)**, v. 15, n. 3, p. 4837–4869, 2015.

LI, D. Perspective for smart factory in petrochemical industry. **Computers & Chemical Engineering**, v. 91, p. 136–148, 2016.

LONGO, F.; NICOLETTI, L.; PADOVANO, A. Smart operators in industry 4.0: A human-centered approach to enhance operators capabilities and competencies within the new smart factory context. **Computers & Industrial Engineering**, v. 113, p. 144–159, 2017.

LUGERT, A.; BATZ, A.; WINKLER, H. Empirical assessment of the future adequacy of value stream mapping in manufacturing industries. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 29, n. 5, p. 886–906, 2018.

MABKHOT, M.; AL-AHMARI, A.; SALAH, B.; ALKHALEFAH, H. Requirements of the smart factory system: A survey and perspective. **Machines**, v. 6, n. 2, 2018.

MOHAMED, N.; AL-JAROODI, J.; LAZAROVA-MOLNAR, S. Leveraging the Capabilities of Industry 4.0 for Improving Energy Efficiency in Smart Factories. **IEEE Access**, v. 7, p. 18008–18020, 2019.

OZTEMEL, E.; GURSEV, S. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 31, n. 1, p. 127–182, 2018.

PAELKE, V. **Augmented Reality in the Smart Factory**. 2014 IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). **Anais...IEEE**, 2014

PARK, S. Development of Innovative Strategies for the Korean Manufacturing Industry by Use of the Connected Smart Factory (CSF). **Procedia Computer Science**, v. 91, n. Itqm, p. 744–750, 2016.

PRINZ, C.; MORLOCK, F.; FREITH, S.; KREGGENFELD, N.; KREIMEIER, D.; KUHLENKÖTTER, B. Learning Factory Modules for Smart Factories in Industrie 4.0. **Procedia CIRP**, v. 54, p. 113–118, 2016.

PROVOST, F.; FAWCETT, T. Data Science and its Relationship to Big Data and Data-Driven Decision Making. **Big Data**, v. 1, n. 1, p. 51–59, 13 fev. 2013.

SCHNEIDER, P. Managerial challenges of Industry 4.0: an empirically backed research agenda for a nascent field. **Review of Managerial Science**, v. 12, n. 3, p. 803–848, 2018.

SHI, Z.; XIE, Y.; XUE, W.; CHEN, Y.; FU, L.; XU, X. Smart factory in Industry 4.0. **Systems Research and Behavioral Science**, v. 37, n. 4, p. 607–617, 2021.

SJÖDIN, D.; PARIDA, V.; LEKSELL, M.; PETROVIC, A. Smart Factory Implementation and Process Innovation. **Research Technology Management**, v. 61, n. 5, p. 22–31, 2018.

SONG, Z.; SUN, Y.; WAN, J.; LIANG, P. Data quality management for service-oriented manufacturing cyber-physical systems. **Computers and Electrical Engineering**, v. 64, p. 1339–1351, 2017.

SYBERFELDT, A.; DANIELSSON, O.; GUSTAVSSON, P. Augmented Reality Smart Glasses in the Smart Factory: Product Evaluation Guidelines and Review of Available Products. **IEEE Access**, v. 5, p. 9118–9130, 2017.

TORTORELLA, G. L.; NARAYANAMURTHY, G.; THURER, M. Identifying pathways to a high-performing lean automation implementation: An empirical study in the manufacturing

industry. **International Journal of Production Economics**, v. 231, n. April 2020, p. 107918, 2021.

VEZA, I.; MLADINEO, M.; GJELDUM, N. Managing Innovative Production Network of Smart Factories. **IFAC-PapersOnLine**, v. 28, n. 3, p. 555–560, 2015.

WAGIRE, A. A.; RATHORE, A. P. S.; JAIN, R. Analysis and synthesis of Industry 4.0 research landscape: Using latent semantic analysis approach. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 31, n. 1, p. 31–51, 2020.

WAN, J.; YI, M.; LI, D.; ZHANG, C.; WANG, S.; ZHOU, K. Mobile Services for Customization Manufacturing Systems: An Example of Industry 4.0. **IEEE Access**, v. 4, p. 8977–8986, 2016a.

WAN, J.; TANG, S.; YAN, H.; LI, D.; WANG, S.; VASILAKOS, A. Cloud robotics: Current status and open issues. **IEEE Access**, v. 4, p. 2797–2807, 2016b.

WAN, J.; YANG, J.; WANG, Z.; HUA, Q. Artificial Intelligence for Cloud-Assisted Smart Factory. **IEEE Access**, v. 6, p. 55419–55430, 2018.

WAN, J.; LI, J.; IMRAN, M.; LI, D. A Blockchain-Based Solution for Enhancing Security and Privacy in Smart Factory. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 15, n. 6, p. 3652–3660, 2019.

WANG, S.; WAN, J.; LI, D.; ZHANG, C. Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 2016, p. 1–10, 2016.

WANG, S.; OUYANG, J.; LI, D.; LIU, C. An integrated industrial ethernet solution for the implementation of smart factory. **IEEE Access**, v. 5, p. 25455–25462, 2017a.

WANG, S.; WAN, J.; IMRAN, M.; LI, D.; ZHANG, C. Cloud-based smart manufacturing for personalized candy packing application. **The Journal of Supercomputing**, v. 74, n. 9, p. 4339–4357, 2018.

WANG, Y.; MA, H.; YANG, J.; WANG, K. Industry 4.0: a way from mass customization to mass personalization production. **Advances in Manufacturing**, v. 5, n. 4, p. 311–320, 2017b.

XU, L. DA; HE, W.; LI, S. Internet of things in industries: A survey. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 10, n. 4, p. 2233–2243, 2014.

XU, X.; HUA, Q. Industrial Big Data Analysis in Smart Factory: Current Status and Research Strategies. **IEEE Access**, v. 5, p. 17543–17551, 2017.