

Conceitos da indústria 4.0 e seus principais desafios de implantação nas empresas contemporâneas

Industry 4.0 concepts and their main challenges of implementation in contemporary companies

Los conceptos de la industria 4.0 y sus principales desafíos de implementación en las empresas contemporâneas

Adriano Marinheiro Pompeu¹
Arthur Nunes de Castro Oliveira²

¹ Mestre em Desenvolvimento Local pela Universidade Católica Dom Bosco (UCDB), e em Eficiência Energética e Sustentabilidade pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Engenheiro de Segurança do Trabalho pela Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal (Uniderp), e Engenheiro de Produção pelo Centro Universitário de Campo Grande (UNAES). Professor do Centro Universitário Tiradentes (UNIT). E-mail: adrianoifael@yahoo.com.br, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4424-2493>

² Graduando em Engenharia de Produção pelo Centro Universitário Tiradentes (UNIT). Graduando em Engenharia de Computação pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL). E-mail: arthur.castro@souunit.com.br, Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6000-7157>

Resumo: Com o crescente desenvolvimento da computação, o mundo presencia o surgimento de novas tecnologias capazes de impactar diretamente o cotidiano das pessoas, além das mais diversas áreas do mercado, como: economia, indústria e serviços. Diante deste contexto de avanços tecnológicos, surge o conceito de Indústria 4.0, em que o uso generalizado de sensores e a troca autônoma de dados entre dispositivos possibilitam a criação de Sistemas Físicos Cibernéticos ou *Cyber-Physical Systems* (CPS), cuja principal característica é a virtualização do ambiente fabril, possibilitando maior controle e monitoramentos dos processos. Porém essa nova Revolução Industrial traz consigo novos desafios. Desta forma, foi realizada uma Revisão Bibliográfica Sistemática, a fim de analisar os principais conceitos referentes à Indústria 4.0, como também identificar as principais dificuldades de implantação dessas novas tecnologias na indústria. Para realização da pesquisa, foram utilizados os mecanismos de busca: *Science Direct*, *Web of Science*, *IEEE Xplore* e *Scopus*, utilizando palavras-chave relacionadas à Quarta Revolução Industrial e tecnologias afins. Foi realizada uma análise crítica do material bibliográfico, para identificar os principais desafios relacionados à implantação da Indústria 4.0 nas empresas. Os resultados preliminares evidenciaram que os principais problemas enfrentados consistem na falta de segurança das informações, falta de integração entre os processos de desenvolvimento e implantação dos algoritmos, complexidade de compilação de dados e elevado custo de implantação.

Palavras-chave: Quarta Revolução Industrial; Internet das Coisas; Sistemas Físicos Cibernéticos.

Abstract: With the growing development of computing, the world is witnessing the emergence of new technologies capable of directly impacting people's daily lives, in addition to the most diverse areas of the market, such as: economy, industry, and services. Faced with this context of technological advances, the concept of Industry 4.0 emerges, in which the widespread use of sensors and the autonomous exchange of data between devices enable the creation of Cyber-Physical Systems (CPS), whose main characteristic is the virtualization of the manufacturing environment, allowing greater control and monitoring of processes. However, this new Industrial Revolution brings with it new challenges. In this way, we carried out a Systemic Bibliographic Review to address the main concepts related to Industry 4.0, as well as to identify the main difficulties of implantation of these new technologies in the industry. To carry out the research, we used the following search engines: Science Direct, Web of Science, IEEE Xplore, and Scopus, using keywords concerning the Fourth Industrial Revolution and related technologies. We perform a critical analysis of the bibliographic material to identify the main challenges related to the implementation of Industry 4.0 in companies. The preliminary results showed that the main problems faced are the lack of information security, lack of integration between the development and implementation processes of the algorithms, complexity of data compilation, and high cost of implementation.

Keywords: Fourth Industrial Revolution; Internet of Things; Cyber-Physical Systems.

Resumen: Con el creciente desarrollo de la computación, el mundo está asistiendo al surgimiento de nuevas tecnologías capaces de impactar directamente la vida cotidiana de las personas, además de las áreas más diversas del mercado, como: economía, industria y servicios. Ante este contexto de avances tecnológicos, surge el concepto de Industria 4.0, en que el uso generalizado de sensores y el intercambio autónomo de datos entre dispositivos posibilitan la creación de Sistemas Ciberfísicos o *Cyber-Physical Systems* (CPS), cuya principal característica es la virtualización del entorno de fabricación, lo que permite un mayor control y seguimiento de los procesos. Sin embargo, esta nueva Revolución Industrial trae consigo nuevos desafíos. De esta forma, se realizó una Revisión Bibliográfica Sistemática, con el fin de analizar los principales conceptos relacionados con la Industria 4.0, así como identificar las principales dificultades de implantación de estas nuevas tecnologías en la industria. Para realizar la investigación, se utilizaron los motores de búsqueda: Science Direct, Web of Science, IEEE Xplore y Scopus, utilizando palabras clave concernientes con la Cuarta Revolución Industrial y tecnologías relacionadas. Se realizó un análisis crítico del material bibliográfico para identificar los principales desafíos relacionados con la implementación de la Industria 4.0 en las empresas. Los resultados preliminares mostraron que los principales problemas enfrentados consisten en la falta de seguridad de la información, la falta de integración entre los procesos de desarrollo e implementación de los algoritmos, la complejidad de la recopilación de datos y el alto costo de implementación.

Palabras clave: Cuarta Revolución Industrial; Internet de las Cosas; Sistemas Ciberfísicos.

1 INTRODUÇÃO

Muito se tem discutido sobre o grande salto tecnológico que o mundo passou nos últimos anos. Boa parte dessa tecnologia está sendo empregada para auxiliar as pequenas atividades do cotidiano das pessoas, como também as mais diversas áreas do mercado, como: economia, indústria e serviços. O desenvolvimento de tecnologias como *Artificial Intelligence (AI)*, *Big Data*, *Internet of Things (IoT)* e as diferentes técnicas de análise de dados têm proporcionado grandes ganhos a empresas das mais diversas áreas.

Diante da globalização e do consequente aumento da competitividade do mercado mundial, muitas empresas sentem a necessidade de inovar por meio da aplicação de tecnologias que aumentem a eficiência de seus processos, tendo em vista que as constantes mudanças nos hábitos dos consumidores exigem das indústrias maior diversidade de produtos e, conseqüentemente, maior flexibilidade de produção, fazendo-as repensar seu modo de agir e se organizar internamente.

Com a evolução das tecnologias da informação, dispositivos tornam-se cada vez mais aptos a se comunicarem entre si, coletando e produzindo grandes quantidades de dados, que, associados às técnicas mais avançadas de Inteligência Artificial e processamento de dados, são capazes de gerar informações de grande importância para o monitoramento e controle de processos industriais, reduzindo desperdício, perdas e custos. Desta forma, essa integração entre dispositivos inteligentes e grande processamento de dados cria um sistema físico cibernético, caracterizando a Indústria 4.0.

Este sistema físico cibernético ou *Cyber-Physical Systems (CPS)*, geralmente, são mecanismos de troca de informação que agem de forma autônoma, tomando decisões por meio da interação e análise de diferentes dados intercambiados entre sistemas. Neste sentido, esta forma de AI pode ser utilizada de maneira muito eficiente, em diferentes contextos industriais e empresariais, uma vez que permite aos gestores uma visão mais abrangente e lógica, baseada em dados computacionais.

Contudo, a implementação deste tipo de tecnologia nas empresas contemporâneas traz consigo grandes desafios, como: alto grau de especialização, domínio dos principais conceitos, adequação de *layout*, mudanças

culturais, mudanças nas linhas de produção, grandes investimentos, entre outros. Desta forma, devido a esses desafios que esta mudança tecnológica impõe, muitas empresas que optam por aderir a esse movimento não conseguem se beneficiar dos impactos positivos trazidos pela Revolução 4.0; sobretudo, também, existem empresas que, por serem resistentes às mudanças tecnológicas, tornam-se, aos poucos, obsoletas, por continuarem com modelos de produção ultrapassados.

Portanto, este trabalho é uma revisão bibliográfica, cujo objetivo é analisar os principais conceitos e tecnologias referentes à Indústria 4.0, como também identificar estudos relacionados à dificuldade na implantação de novas tecnologias 4.0 nas empresas. Tais estudos servirão como referência para melhor compreender quais as principais dificuldades encontradas pelas empresas em aderir aos conceitos da Quarta Revolução Industrial.

Desta forma, neste trabalho, foram abordados os principais tópicos referentes à evolução do desenvolvimento industrial ao longo dos séculos, bem como as principais características da Indústria 4.0, sendo discutidos os principais conceitos e tecnologias envolvidas. Por fim, foi realizado um estudo bibliográfico, com a finalidade de melhor compreender as dificuldades encontradas pelas empresas em aderir a essas novas tecnologias.

2 APORTES TEÓRICOS

2.1 Evolução dos sistemas manufatureiros

De acordo com Carvalho e Paladini (2013), um dos primeiros sistemas de manufatura era a produção artesanal. Neste sistema, o artesão era um especialista e tinha o conhecimento de todo o ciclo de vida do produto. Neste tipo de produção, os produtos eram totalmente customizados, tendo em vista a maior participação do cliente no processo produtivo, em que suas necessidades eram comunicadas diretamente ao fabricante.

Os autores supracitados contribuem, ainda, informando que, dentre as principais características da produção artesanal, pode-se destacar: o baixo volume de produção, falta de controle de qualidade, trabalho manual e falta de padronização. Tais características, aliadas ao crescimento contínuo da demanda, fizeram com que alguns produtores procurassem

por alternativas que aumentassem sua produtividade, dando início a um processo de mecanização da produção.

Desta forma, por meio do surgimento de necessidades de mudanças no sistema de produção e com o desenvolvimento da máquina a vapor, surgiu a Primeira Revolução Industrial (1760-1840) na Inglaterra. Com a industrialização da produção, houve a substituição progressiva do trabalho artesanal por máquinas e ferramentas, em que o artesão, que tinha total controle do processo, desde a exploração de matéria-prima à comercialização do produto final, passou a ser apenas mais um proletariado a serviço do patrão que controlava todo o processo, desde a matéria-prima à distribuição final dos lucros (COELHO, 2016).

Para Sakurai e Zuchi (2018), a Revolução Industrial ficou marcada como um período de grandes descobertas e desenvolvimento tecnológico, proporcionando, assim, a evolução da manufatura e dos transportes. Ainda, segundo os autores, uma das principais tecnologias relacionadas à Revolução Industrial foi a máquina a vapor, desenvolvida por James Watt, que, por sua vez, foi utilizada em larga escala pela indústria têxtil, que ficou conhecida por sua produção excedente.

A partir dos conceitos relacionados à Primeira Revolução Industrial, torna-se possível compreender que, mesmo com a alta customização dos produtos, proporcionada pelas exigências de mercado, tais produtos e processos careciam de padronização para atendimento mais abrangente das demandas mercadológicas. Neste sentido, progressivamente, as máquinas e os equipamentos foram estabelecendo novos padrões de produção ao substituírem a mão de obra artesanal. Tal fato ocasionou um cenário propício para o desenvolvimento de grandes avanços tecnológicos nos processos produtivos.

A partir da segunda metade do século XIX, destacou-se a Segunda Revolução Industrial. Tal revolução trouxe consigo muitas inovações: se, por um lado, a Primeira Revolução se destacava pelo uso do ferro e do carvão em relação à energia a vapor, a Segunda Revolução destacou-se pela produção de aço e pela eletricidade, provocando grandes mudanças em diferentes áreas. Essas mudanças ocorreram de forma gradativa e, aos poucos, foram substituindo antigos processos, consolidando-se plenamente no século XX (CARA, 2019).

No início do século XX, a indústria automobilística se destacou com seu modelo de produção em massa, com a introdução das linhas de montagem desenvolvidas por Henry Ford. Este novo modelo de produção, conhecido como Fordismo, sistematizou o trabalho fabril, proporcionando a padronização e a produção em série, e, aliado aos métodos de Administração Científica, pôde atender ao consumo em massa (BATISTA, 2008).

Entre os séculos XX e XI, houve grandes avanços tecnológicos que proporcionaram a chamada Revolução Técnico-Científica e Informacional, conhecida também como Terceira Revolução Industrial. Esse novo modelo de manufatura só foi possível devido às grandes descobertas nos campos da informática, robótica, telecomunicações, transportes, biotecnologia, química fina, além da nanotecnologia (SAKURAI; ZUCHI, 2018).

Carvalho (1997) acredita que a Terceira Revolução Industrial trouxe como principal característica a descentralização geográfica da produção, em que, por meio das facilidades logísticas proporcionadas pela globalização, administra suas operações em diversos países, fazendo uso de vantagens competitivas em relação ao uso de matérias-primas, mão de obra local, qualificação e custos. Desta forma, com o intenso desenvolvimento da computação e robótica, nasceu o que viria a ser a Quarta Revolução Industrial, mais conhecida também como Indústria 4.0.

Ao considerar as transformações ocasionadas pelas Segunda e Terceira Revoluções Industriais, percebe-se que o processo inovativo trouxe mudanças significativas em diferentes áreas. Este processo gradativo de melhoria dos processos, fomentado pelo Fordismo, potencializou descobertas de melhores formas de mecanização por meio da introdução da informática, telecomunicação e robótica, sendo que este contexto abriu caminho para as novas interações de desenvolvimento da Indústria 4.0.

2.2 Indústria 4.0: principais conceitos

A Indústria 4.0, considerada por muitos acadêmicos como a 4ª Revolução Industrial, é um termo que ganhou popularidade em 2011, quando membros do governo alemão apresentaram uma estratégia de aperfeiçoar a competitividade da indústria por meio da implementação de

tecnologias de alto nível. Tal estratégia faz parte do projeto denominado *High-Tech Strategy 2020 for Germany*, cujo objetivo era fazer da Alemanha líder em inovação tecnológica (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

Bahrin et al. (2016) conceituam a Indústria 4.0 como um modelo de produção composto por tecnologias de ponta conectadas à Internet; desta forma, os sistemas de produção passam a ser mais flexíveis e colaborativos. Ainda, segundo os autores, neste novo cenário de produção, as indústrias passariam a usar máquinas inteligentes, capazes de se otimizar e se configurarem automaticamente, além da aplicação de inteligência artificial para realização de tarefas complexas, tornando os processos mais eficientes e produtos/serviços com melhor qualidade.

Cheng et al. (2015) corroboram afirmando que as fábricas inteligentes, também conhecidas como *Smart Factories*, são o fator-chave para alcançar o nível de flexibilidade necessário para atender às atuais exigências do mercado. Segundo os autores, tais exigências surgem de expectativas crescentes de produtividade, aumento da variedade de produtos, redução no tamanho dos lotes etc.

Uma das principais vantagens das *Smart Factories* seria a implementação generalizada de sensores no ambiente de produção; desta forma, a fábrica poderá coletar dados em tempo real, possibilitando a virtualização do mundo físico, em que, por meio desses Sistemas Físicos Cibernéticos, os gestores podem testar e otimizar operações nas linhas de produção por meio de simulações (SANTOS et al., 2018).

Pode-se perceber que o avanço tecnológico proporcionou uma grande otimização nos processos produtivos, possibilitando que as empresas se tornem mais flexíveis para atender à crescente demanda do mercado. Dentre os principais ganhos proporcionados pelas fábricas inteligentes, destacam-se a redução de custos e o aumento da produtividade, haja vista a diminuição da intervenção humana nos processos produtivos.

Para Ruy (2017), a Indústria 4.0 possibilita melhorias na gestão das organizações, e esse novo sistema de manufatura proporciona uma cooperação mais estreita entre fornecedores, clientes e funcionários. Segundo o autor, nesse novo modelo de produção, os funcionários deixarão de realizar atividades rotineiras para se dedicar a tarefas mais criativas e de maior

valor agregado; desta forma, essa nova Revolução Industrial dá origem a uma nova abordagem sociotécnica, cujo foco é o respeito e a importância do trabalho humano no processo de inovação.

Segundo Almeida (2019), a Indústria 4.0 tem o potencial de alavancar a competitividade de muitas empresas. A Quarta Revolução Industrial proporciona a modernização dos processos e o atendimento personalizado aos clientes, porém o autor enfatiza que, para implantar um sistema produtivo baseado na Indústria 4.0, as empresas teriam de fazer seus planejamentos e investimentos fundamentados em alguns pilares ou princípios básicos.

Observa-se que uma das principais tendências provocadas pelo avanço tecnológico é a maior aproximação dos elementos de toda a cadeia de suprimentos, haja vista as maiores facilidades e o fortalecimento dos canais de comunicação, possibilitando uma maior integração entre os processos. Outro ponto importante é o ganho de produtividade, uma vez que a automação dos processos possibilita que o funcionário dedique mais tempo às atividades criativas e inovadoras, reduzindo custos e tornando a empresa mais competitiva.

2.3 Pilares da Indústria 4.0

Rodrigues, Jesus e Schützer (2016) afirmam que a implantação dos conceitos e das tecnologias 4.0 dentro das empresas é um processo de alta complexidade, demandando grande quantidade de tempo e planejamento. Os autores destacam ainda o fato da não existência de um roteiro predefinido, o qual as empresas possam seguir para a realização dessa transição tecnológica. Contudo, alguns autores sugerem estratégias que podem ser seguidas pelas empresas para uma correta implantação dos conceitos da Indústria 4.0.

Na literatura, cada autor destaca pilares específicos a depender da sua linha de pesquisa, Almeida (2019), em seus estudos, dá ênfase a três pilares: digitalização e integração das cadeias produtivas de valor horizontal e vertical; digitalização das ofertas de produtos e serviços; modelos de negócio virtuais com uma estrutura de acesso ao cliente *smart factory*. Porém este trabalho focará nos pilares estabelecidos por Hermann, Pentek e Otto (2016), tendo em vista a maior notoriedade do trabalho destes autores.

Hermann, Pentek e Otto (2016), em suas pesquisas, definiram quatro componentes que são fundamentais e que tornaram possíveis a Indústria 4.0: Sistemas Físicos Cibernéticos (CPS), *Internet of Things* (IoT), *Internet of Services* (IoS) e *Smart Factories*. Tendo como base esses quatro elementos, os autores definiram seis princípios ou pilares básicos que servem como suporte para as empresas realizarem a correta alocação de recursos na implementação dos conceitos e tecnologias da Quarta Revolução Industrial, como pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1 – Relação entre os pilares e principais tecnologias da Indústria 4.0

	Cyber-Physical Systems	Internet of Things	Internet of Services	Smart Factory
Interoperability	X	X	X	X
Virtualization	X	-	-	X
Decentralization	X	-	-	X
Real-Time Capability	-	-	-	X
Service Orientation	-	-	X	-
Modularity	-	-	X	-

Fonte: Hermann, Pentek e Otto (2016).

Esta relação entre os pilares e tecnologias da Indústria 4.0 apresenta, de forma intuitiva e visual, como os recursos tecnológicos podem ser utilizados pelas organizações para implementação dos conceitos da Quarta Revolução Industrial. Neste sentido, novos modelos de empreendimentos podem buscar se amparar em características e estratégias mais assertivas para o desenvolvimento de ações voltadas à inovação tecnológica.

O primeiro pilar que Hermann, Pentek e Otto (2016) estabelecem é o da interoperabilidade. Os autores definem esse pilar como sendo a capacidade de comunicação e integração entre as tecnologias e dispositivos utilizados na produção. Os principais componentes relacionados a este pilar são os sistemas CPSs e a Internet das Coisas.

O segundo pilar é a virtualização. Gorecky *et al.* (2014) definem esse pilar como sendo a capacidade que os Sistemas Físicos Cibernéticos têm de monitorar processos físicos. Por meio dos dados obtidos pela utilização de

sensores, é possível a construção de modelos virtuais que proporcionam uma melhor visibilidade do processo em caso de falhas, como também maior liberdade para realização de otimização de linhas de produção por meio de técnicas avançadas de simulação (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

Ruy (2017), em seu trabalho, afirma que o terceiro pilar, a descentralização, surge como consequência das constantes mudanças do mercado, aliada à crescente demanda por produtos individuais. Desta forma, os dispositivos tornam-se capazes de tomar decisões de forma autônoma, de acordo com as reais necessidades de produção.

Schlick *et al.* (2014) abordam o quarto pilar como sendo a capacidade de processamento instantâneo de dados, tendo em vista a minimização do tempo de reação e tomada de decisão; portanto, as falhas que ocorrem na linha de produção podem ser detectadas de forma simultânea, aumentando a segurança e a confiabilidade do processo.

Rodrigues, Jesus e Schützer (2016, p. 40) definem a orientação a serviços como “a oferta de serviços de empresas, CPS’s e seres humanos através da Internet de Serviços”; desta forma, tal pilar visa à maior inclusão do cliente no processo produtivo, por meio da acessibilidade aos sistemas de informação, fazendo com que os produtos passem por processamentos específicos de acordo com a customização estabelecida pelos clientes.

Hermann, Pentek e Otto (2016) definem a modularização como último pilar. Segundo os autores, esse princípio parte da premissa de que a indústria precisa se adaptar às contínuas mudanças que ocorrem no mercado. Desta forma, os módulos proporcionariam uma flexibilização na produção, no contexto das fábricas inteligentes, possibilitando fáceis ajustes em situações de sazonalidade e mudanças na configuração da produção.

Assim, diante da complexidade da Indústria 4.0, esses pilares servem como uma importante referência para as empresas que almejam implantar esse tipo de tecnologia em seus processos, uma vez que eles fazem uma correlação entre os conceitos da Indústria 4.0 e as respectivas tecnologias necessárias para implementá-los, possibilitando que as empresas aloquem recursos de forma segura e eficiente.

2.4 Principais tecnologias

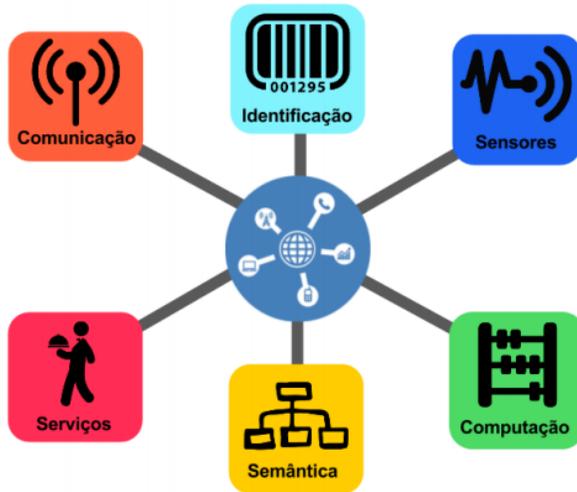
2.4.1 Internet of Things

A Internet das Coisas (do inglês *Internet of Thing* [IoT]) é o resultado dos contínuos avanços em pesquisas em diferentes áreas da computação. Refere-se à conexão entre objetos físicos e virtuais por meio da Internet. Essa tecnologia originou-se em 1999, quando um grupo de pesquisadores do Massachusetts Institute of Technology (MIT) começaram a desenvolver projetos com etiquetas de radiofrequência (RFID), que, por sua vez, foram impulsionados com a evolução dos dispositivos móveis, comunicações wireless e sensores que se tornaram cada vez menores e baratos (COELHO, 2016).

Yang *et al.* (2010) afirmam que a IoT é uma adaptação do *Internet Protocol* (IP), que pode ser aplicado a qualquer dispositivo, tornando-o acessível de qualquer local; desta forma, Santaella *et al.* (2013, p. 28) enfatizam que os dispositivos inteligentes “tendem a assumir o controle de uma série de ações do dia a dia, sem necessidade de que as pessoas estejam atentas e no comando”.

Santos *et al.* (2016) explicam o funcionamento básico da IoT por meio de seis módulos básicos, como pode ser observado na Figura 1. A identificação é o módulo mais importante, tendo em vista a necessidade do reconhecimento dos dispositivos por meio códigos específicos para conectá-los à Internet; sendo assim, os autores destacam a tecnologia de Identificação por Radiofrequência (do inglês *Radio Frequency IDentification* [RFID]), Comunicação de Campo Máximo (do inglês *Near Field Communication* [NFC]) e o endereçamento de IP para a realização da identificação.

Figura 1 – Módulos básicos da IoT



Fonte: Santos et al. (2016).

Com o contínuo avanço da IoT, pode-se perceber que os dispositivos inteligentes tornam-se cada vez mais independentes, e, por meio de sensores e protocolos especiais de comunicação, diversos dispositivos podem trocar informações entre si, fazendo os processos mais automáticos e padronizados, reduzindo cada vez mais a intervenção humana, como também pode-se destacar a maior capacidade de controle dos processos, sendo esse controle cada vez mais descentralizado.

O segundo módulo trata dos sensores e atuadores, tais dispositivos servem para coletar e armazenar informações em centros de armazenamentos. Com o auxílio dos atuadores, os objetos podem reagir de acordo com as informações coletadas pelos sensores, possibilitando uma maior automação do processo. O terceiro módulo é a comunicação, em que, por sua vez, destacam-se tecnologias como Wi-Fi e Bluetooth para integração e comunicação entre os diferentes dispositivos (SANTOS *et al.*, 2016).

Os autores supracitados concluem ainda que o módulo de computação é o responsável pelo processamento e pela execução dos algoritmos e, com o auxílio do módulo de serviços, é capaz de identificar dispositivos

conectados na rede, agregar e sumarizar dados coletados por sensores, tomar decisões e reagir com base em informações coletadas dos processos físicos, como uma linha de produção industrial, por exemplo. O módulo de semântica destaca o processo de comunicação dos dispositivos inteligentes, que, por sua vez, deve ser realizado com base em linguagens e protocolos padronizados.

2.4.2 Cyber-Physical Systems

De acordo com Wang, Torngreen e Onori (2015), o termo CPS foi apresentado pela primeira vez em 2006, nos Estados Unidos, tendo em vista a necessidade da integração entre dispositivos do mundo físico aos sistemas computacionais. A tecnologia CPS pode ser definida como uma nova geração de sistemas capazes de “interagir e expandir as capacidades do mundo físico por meio de computação, comunicação e controle” (EVANGELISTA *et al.*, 2019, p. 9); desta forma, a implementação desses sistemas é de grande importância para o desenvolvimento da indústria e da tecnologia da informação (LIU *et al.*, 2017).

Berger *et al.* (2016) definem os Sistemas Físicos Cibernéticos como os principais facilitadores da Indústria 4.0, Grabler e Pöhler (2018) afirmam que o CPS é uma evolução dos sistemas embarcados (*Embedded Systems*), uma vez que tais sistemas não estão necessariamente conectados, como explica Coelho (2016, p. 22):

Se consideramos as redes de comunicação apenas como um poderoso facilitador, o coração dos sistemas Cyber-Physical são os sistemas de computação embutidos (*Embedded Systems*). *Embedded systems* são sistemas de processamento de informação incluídos em outros produtos ou equipamentos principais. As tarefas que até agora eram desempenhadas por computadores dedicados apenas à recolha de informação proveniente da automação tradicional, estão a ser transferidas para estes novos sistemas com dimensões e performance ajustada às novas necessidades. Os computadores, tal como os conhecemos, tendem a desaparecer criando espaço para um novo conceito de Ubiquitous computing (Computação omnipresente).

Segundo Evangelista *et al.* (2019), os Sistemas Físicos Cibernéticos são projetados para integrar elementos do mundo físico, como: máquinas,

sistemas de armazenamento e instalações, possibilitando a automatização de tarefas por meio da troca de informações entre dispositivos, gerando grande impacto na manufatura e em todo o ciclo de vida do produto ou processo, pois, com o CPS, as máquinas tornam-se inteligentes, possibilitando uma otimização na capacidade de coordenação e melhoria no desempenho geral dos processos industriais (MONOSTORI, 2014; CAO; ZHANG; CHEN, 2017).

2.4.3 Cloud Computing

A computação em nuvem pode ser definida como um ambiente computacional baseado em muitos servidores físicos ou virtuais. Esses servidores têm uma grande quantidade de recursos, como: processamento, armazenamento, conectividade, aplicativos e serviços disponibilizados na Internet. Desta forma, trata-se de uma evolução dos Centros de Processamentos de Dados, também conhecidos como *Data Center* (TAURION, 2009).

Khan *et al.* (2017) afirmam que o *Big Data* surge em uma era em que os dados são gerados continuamente, tendo em vista o desenvolvimento tecnológico e o aumento do número de acessos à tecnologia atualmente. No contexto da Indústria 4.0, devido à integração entre os dispositivos e à grande quantidade de informações coletadas pelos sensores, a indústria passa a ter custos elevados relativos à infraestrutura tecnológica, tendo em vista a grande quantidade de servidores que ela deverá ter para armazenar todos os seus dados.

Desta forma, Sousa, Moreira e Machado (2009) descrevem que o modelo de computação em nuvem foi desenvolvido para facilitar o acesso a serviços computacionais, reduzindo custos e proporcionando maior disponibilidade e escalabilidade dos recursos computacionais empresariais.

Com a virtualização dos processos e o avanço da IoT, pode-se perceber que a computação em nuvem desempenha um papel de destaque, uma vez que ela é responsável pelo armazenamento, processamento e fornecimento de dados em tempo real, descentralizando as informações e fornecendo a estrutura necessária para a comunicação entre diferentes dispositivos ao longo do sistema produtivo.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho é uma pesquisa bibliográfica realizada entre os meses de agosto e dezembro de 2020, em que foram analisados os principais conceitos e tecnologias referentes à Indústria 4.0, a fim de identificar as principais dificuldades encontradas na literatura acadêmica, descritas pelas empresas analisadas ao aderirem a este novo conceito de manufatura e gestão.

Este trabalho tem objetivo exploratório, uma vez que, por meio de uma revisão bibliográfica, serão elencadas as principais dificuldades de as empresas aderirem aos conceitos 4.0. Esta pesquisa faz uso da metodologia dedutiva, que, segundo Marconi e Lakatos (2017), caracteriza-se pela definição de fenômenos particulares a partir de leis e teorias gerais.

Gil (2008, p. 27) define pesquisas exploratórias como sendo aquelas cujo objetivo é desenvolver conceitos e ideias mais precisas, “é realizado especialmente quando o tema escolhido é pouco explorado e torna-se difícil sobre ele formular hipóteses precisas e operacionalizáveis”. O autor complementa, ainda, afirmando que o resultado final desse tipo de abordagem é a simplificação de um problema, tornando-o passível de análises e procedimentos mais sistematizados.

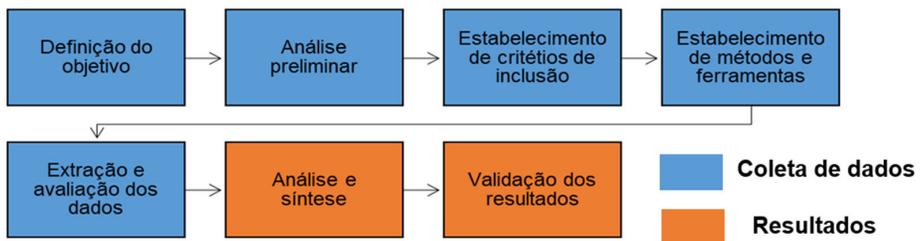
Marques *et al.* (2014) estabelecem a abordagem quantitativa como sendo aquela cujos dados podem ser matematizados, possibilitando ao pesquisador fazer uso de gráficos, tabelas e ferramentas estatísticas. Sobre a abordagem quantitativa, os autores afirmam ainda que:

Prestam-se como instrumentos/procedimentos de coleta de dados os questionários fechados, aplicação de testes padronizados de múltipla escolha, experimentos em laboratórios e observação sistemática com registro em escala de mensuração. Alerta-se para o fato de que é sempre possível uma análise qualitativa, a partir de dados quantitativos (MARQUES *et al.*, 2014, p. 39).

Para a realização da coleta de dados, foi utilizada a metodologia de Revisão Bibliográfica Sistêmica (RBS). Segundo Guanilo, Takahashi e Bertolozzi (2011), trata-se de uma metodologia rigorosa para identificação de estudos sobre um tema específico, fazendo uso de métodos sistematizados de busca, como também procedimentos de avaliação e validação desses estudos.

Okoli (2015) estabelece oito passos principais para a realização de uma Revisão Bibliográfica Sistemática, como mostra a Figura 2. Para o autor, essas etapas são essenciais para manter a rigorosidade da revisão científica e são classificadas em: identificação do objetivo, planejamento, seleção/filtragem, busca bibliográfica, extração de dados, avaliação, síntese e revisão.

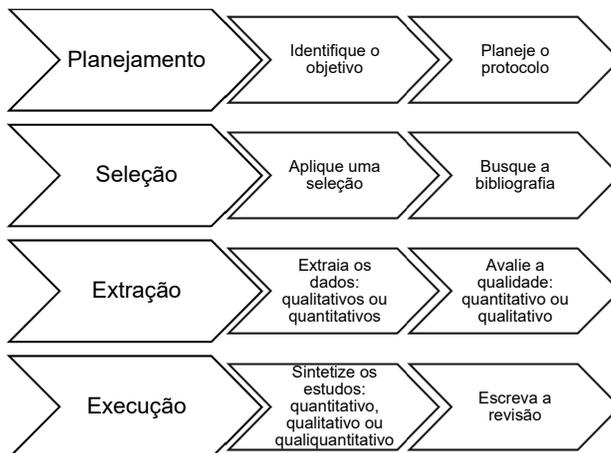
Figura 2 – Guia Sistemático para o desenvolvimento de revisão de literatura



Fonte: adaptado de Okoli (2015).

Desta forma, baseando-se no modelo estabelecido por Okoli (2015), este trabalho pode ser dividido em sete etapas (Figura 3), as quais podem ser divididas em dois grupos: Coleta de Dados e Resultados.

Figura 3 – Procedimentos metodológicos



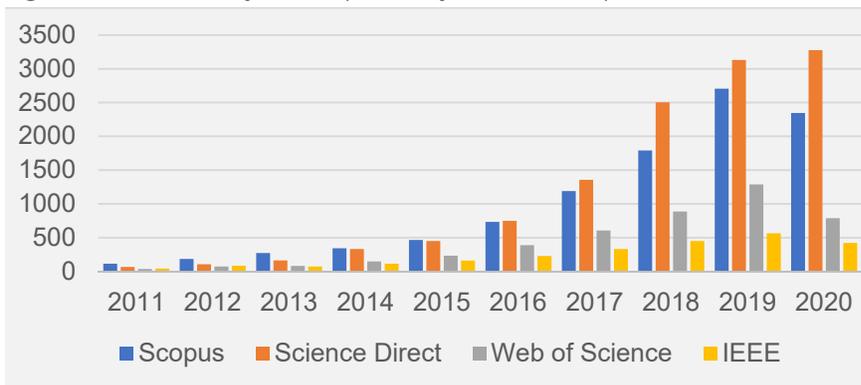
Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Primeiramente, foi realizada uma análise inicial em materiais relacionados ao tema de interesse. Tais materiais são compostos por fontes primárias de informação. Pinheiro (2006, p. 2) define fontes primárias “como material original e não filtrado por interpretações”. A autora cita como exemplo os periódicos, anais de congresso e eventos científicos, patentes, dissertações, teses, livros, entre outros.

Como principal fonte de materiais bibliográficos, foram utilizados os seguintes mecanismos de busca: *Web of Science*, *Science Direct*, *Scopus* e *IEEE Xplore*. Inicialmente, foi realizada uma breve análise dos resumos dos materiais acadêmicos; desta forma, foi feita a primeira filtragem, em que, por sua vez, foram eliminadas as bibliografias que não estavam alinhadas com o problema proposto.

Como pode ser observado na Figura 4, o mecanismo de busca *Science Direct* é o que apresenta maior número de publicações, principalmente nos últimos três anos, em que, em 2020, nota-se um aumento de 337,96% em relação ao ano de 2016. No geral, todas os mecanismos de busca escolhidos apresentam um crescimento contínuo, com exceção do *IEEE* e *Scopus*, que, em 2020, tiveram uma queda de 33,72% e 13,34%, respectivamente, em relação ao ano anterior.

Figura 4 – Distribuição das publicações obtidas por ano



Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Depois da análise dos resultados obtidos, foi realizada a extração dos materiais bibliográficos, levando em consideração os critérios definidos

anteriormente. Inicialmente, foram selecionados os materiais cujos títulos melhor se enquadravam com a problemática abordada; em seguida, as bibliografias passaram por uma análise mais criteriosa, em que foram analisados os seus respectivos resumos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a coleta de dados realizada, pode-se perceber o crescente aumento no número de publicações relativas à Indústria 4.0. Dentre os materiais selecionados para análise, foi possível levantar algumas barreiras que dificultam a implantação dos conceitos da Quarta Revolução Industrial.

As análises preliminares dos materiais selecionados demonstram que um dos problemas identificados está relacionado ao *Big Data*. Lee *et al.* (2014) afirmam que as empresas estão inseridas em um ambiente cada vez mais competitivo, em que muitas delas enfrentam problemas com gerenciamento de dados, devido à falta de ferramentas analíticas inteligentes.

Chen *et al.* (2015) explicam que na IoT, no contexto do *Big Data* e computação em nuvem, as máquinas podem trocar informações de forma automática; desta forma, grandes volumes de dados são gerados continuamente. Outras características abordadas pelos autores são a heterogeneidade dos dados, a complexidade e a segurança das informações. Assim, existe a necessidade de mecanismos rápidos e eficazes que sejam capazes de processar todos esses dados.

Outro problema encontrado está relacionado à falta de aprendizado com as informações disponíveis. Essa problemática ocorre pela falta de integração entre os processos de desenvolvimento e implementação dos algoritmos de aprendizagem de máquina. Como o ambiente industrial é dinâmico, as máquinas, por meio de sensores, recebem e interpretam diferentes dados do sistema físico continuamente, em que, muitas vezes, acabam processando esses dados de maneira errada, dado que o algoritmo não foi capaz de prever determinada situação.

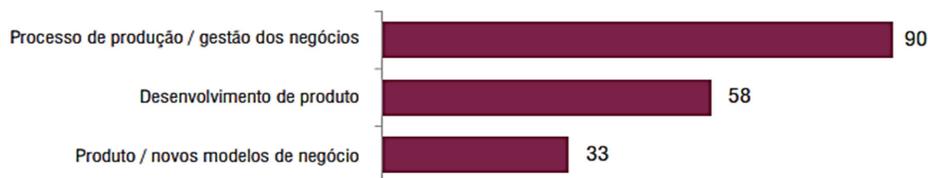
Dentre os trabalhos analisados, muitos autores enfatizam a ineficiência e a falta de segurança de alguns sistemas de proteção dos dados industriais. Com a digitalização da produção, a informação passa a ser um dos principais

recursos de uma empresa; desta forma, as empresas passam a estar mais suscetíveis a ataques virtuais. Sadeghi, Wachsmann e Waidner (2015), em seu trabalho, demonstram exemplos de invasões virtuais a sistemas críticos industriais, como, por exemplo, ataque a um sistema de monitoramento crítico de uma usina nuclear nos EUA, além de outros ataques a sistemas de despacho de redes de transporte, levando à paralisação completa dos transportes de passageiros e de carga.

Um ponto importante que vale ser enfatizado é o fator econômico. Pelo fato de as tecnologias 4.0 ainda estarem em processo de amadurecimento, tais recursos não são acessíveis para todas as empresas, o que demanda muito investimento financeiro. Contudo, segundo a Confederação Nacional da Indústria (CNI) (2019), entre os anos de 2016 e 2018, o número de grandes empresas que usam pelo menos uma das tecnologias 4.0 subiu de 63% para 73%.

Ainda segundo a pesquisa do CNI de 2019, as tecnologias mais utilizadas pelas grandes empresas brasileiras são o uso de sensores para controles de processos e os sistemas integrados de engenharia para desenvolvimento e manufatura de produtos. Dentre as demais tecnologias adotadas, pode-se destacar o *Big Data* e o Monitoramento e controle remoto da produção. A Figura 5 a seguir demonstra as áreas em que tais tecnologias estão sendo aplicadas.

Figura 5 – Foco do uso de tecnologias digitais (%)



Fonte: CNI (2019).

De acordo com os resultados obtidos na pesquisa realizada pela Confederação Nacional da Indústria em 2018, 90% das empresas afirmam que estão investindo em tecnologias para controle de processos de produção

e gestão de negócios, 58% para o desenvolvimento de novos produtos e 33% para estabelecimento de novos modelos de negócios.

Desta forma, diante das dificuldades encontradas, pode-se perceber que tais fatores favorecem para a criação de um cenário de incertezas e inseguranças, fazendo com que o número de adesão aos conceitos e tecnologias 4.0 sejam cada vez menores. Assim, a lacuna entre empresas com sistemas tradicionais de produção e pioneiras da Quarta Revolução Industrial está ocasionando um cenário de incerteza e dificuldade na adesão dos conceitos da Indústria 4.0 para algumas organizações.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho abordou os conceitos fundamentais da Indústria 4.0, efetuando uma análise sistemática sobre os desafios enfrentados pelas empresas para sua adesão. De acordo com o estudo realizado, pode-se perceber que, como as empresas estão inseridas em um contexto de grande competitividade, elas devem procurar meios alternativos para se destacar diante da concorrência; desta forma, existe a necessidade de investir em tecnologias que aumentem seu nível de qualidade e produtividade.

Diante do estudo realizado, é notório que grande parte das empresas que optam por seguir os conceitos da Quarta Revolução Industrial precisa fazer readequações em seus processos internos, como também definir novas interfaces de interação homem-máquina, uma vez que este é um fator crítico para as operações industriais neste novo contexto tecnológico.

Com as análises iniciais dos materiais bibliográficos selecionados, pode-se concluir que, dentre os principais problemas que as empresas enfrentam para aderir aos conceitos 4.0, estão: a falta de segurança das informações, a não compreensão das tecnologias existentes, a falta de tecnologia analítica para tratamento e processamento de dados e os fatores financeiros.

Dentre os problemas mais significativos, pode-se destacar a dificuldade de entendimento das tecnologias 4.0 e a falta de segurança das informações. Com o crescente avanço tecnológico, criam-se grandes expectativas sobre a aplicação destes recursos no cenário industrial e empresarial, entretanto,

de acordo com os resultados obtidos, tais tecnologias ainda precisam ser compreendidas de forma abrangente, para serem implantadas no ambiente industrial, tendo em vista a falta de segurança/privacidade na transferência de dados e o baixo nível de adaptabilidade de alguns algoritmos importantes para o funcionamento eficaz de sistemas e equipamentos autônomos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P. S. *Indústria 4.0: Princípios básicos, aplicabilidade e implantação*. São Paulo: Érica, 2019.

BAHRIN, M. A. K.; OTHMAN, M. F.; AZLI, N. H. N.; TALIB, M.F. Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. *Jurnal Teknologi*, Kuala Lumpur, Malaysia, v. 78, n. 6-13, [s.p.], 2016.

BATISTA, E. Fordismo, taylorismo e toyotismo: apontamentos sobre suas rupturas e continuidades. *In: SIMPÓSIO LUTAS SOCIAIS NA AMÉRICA LATINA*, 3., Londrina, 2008. Disponível em: http://www.uel.br/grupo-pesquisa/gepal/terceirosimposio/erika_batista.pdf. Acesso em: 3 out. 2020.

BERGER, C; HEES, A.; BRAUNREUTHER, S.; REINHART, G. Characterization of cyber-physical sensor systems. *Procedia CIRP*, Augsburg, Germany, v. 41, p. 638-43, 2016.

CAO, H.; ZHANG, X.; CHEN, X. The concept and progress of intelligent spindles: a review. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Xi'an 710049, v. 112, p. 21-52, 2017.

CARA, M. H. M. Quarta Revolução Industrial: um estudo bibliográfico da Indústria 4.0 e suas principais tecnologias inseridas. 2019. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, 2019.

CARVALHO, A. M. Pinho. A globalização e o desafio da questão social: *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA DOMÉSTICA*, 14., Fortaleza. *Anais [...]*. Fortaleza: CE, 1997.

CARVALHO, M. M.; PALADINI, E. P. *Gestão da qualidade: teoria e casos*. Rio de Janeiro: Campus, 2013.

CHEN, F. *et al.* Data mining for the internet of things: literature review and

challenges. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, [s.l.], v. 11, n. 8, p. 431047, 2015.

CHENG, C. H. *et al.* *Semantic degrees for industrie 4.0 engineering: deciding on the degree of semantic formalization to select appropriate technologies.* In: PROCEEDINGS OF THE JOINT MEETING ON FOUNDATIONS OF SOFTWARE ENGINEERING, 10., 2015, Bergamo, *proceedings* [...].Bergamo, 2015. p. 1010-3.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA [CNI]. *Investimentos na Indústria*, Brasília, ano 9, n. 1, 2019. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br>. Acesso em: 29 out. 2020.

COELHO, P. Rumo à Indústria 4.0. 2016. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Ciência e Tecnologia de Coimbra, Universidade de Coimbra, Portugal, 2016.

EVANGELISTA, G. M. S; SIMON. A. T.; JUNIOR. M. Vieira; CORRER, I. Evolução dos Sistemas Físicos Cibernéticos referenciada nos seus requisitos: uma Análise da Literatura. In: CORRER, I. *et al.* *Pesquisa na Graduação: Inserção da formação do profissional de engenharia de produção em ambiente de P&D*, Belo Horizonte: Poisson, 2019. p. 8-17.

GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GORECKY, D. *et al.* Human-machine-interaction in the industry 4.0 era. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL INFORMATICS (INDIN), 12., 2014, Porto Alegre, *Proceedings* [...] Porto Alegre: IEEE, 2014. p. 289-94.

GUANILO, M. C.; TAKAHASHI, R. F.; BERTOLOZZI, M. R. Revisão sistemática: noções gerais. *Revista da Escola de Enfermagem da USP*, São Paulo, v. 45, n. 5, p. 1260-6, 2011.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In: HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES (HICSS), 49., 2016, Koloa, *Proceedings* [...] Koloa: IEEE, 2016. p. 3928-37.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. National Academy of Science and Engineering, Frankfurt, 2013.

KHAN, M. *et al.* Big Data challenges and opportunities in the hype of Industry 4.0.

In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS [ICC]. Paris: IEEE, 2017. p. 325-31.

LEE, J. KAO, H. A.; YANG, S. Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment. *Procedia Cirp*, [s.l.], v. 16, n. 1, p. 3-8, 2014.

LIU, Y. PENG, Yu; WANG, B.; YAO, S.; LIU, Z. Review on cyber-physical systems. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, [s.l.], v. 4, n. 1, p. 27-40, 2017.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. *Fundamentos de Metodologia Científica*. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MARQUES, H. R.; MANFROI, J.; CASTILHO, M. A.; NOAL, M. L. *Metodologia da Pesquisa e do Trabalho Científico*. Campo Grande: Universidade Católica Dom Bosco, 2014.

MONOSTORI, L. Cyber-physical production systems: roots, expectations and R&D challenges. *Procedia Cirp*, [s.l.], v. 17, p. 9-13, 2014.

OKOLI, C. A guide to conducting a standalone systematic literature review. *Communications of the Association for Information Systems*, Montreal, v. 37, n. 1, p. 43, 2015.

PINHEIRO, L. V. R. Fontes ou recursos de informação: categorias e evolução conceitual. *Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação e Biblioteconomia*, [s.l.], v. 1, n. 1, 2006.

RODRIGUES, L. F.; JESUS, R. A.; SCHÜTZER, K. Indústria 4.0: Uma revisão da literatura. *Revista de Ciência & Tecnologia*, [s.l.], v. 19, n. 38, p. 33-45, 2016.

RUY, G. R. *A tomada de decisão baseada em dados na indústria 4.0: revisão sistemática*. 2017. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, 2017.

SADEGHI, A. R.; WACHSMANN, C.; WAIDNER, M. Security and privacy challenges in industrial Internet of Things. In: ACM/EDAC/IEEE DESIGN AUTOMATION CONFERENCE (DAC), 52., São Francisco: IEEE, 2015, p. 1-6.

SAKURAI, R.; ZUCHI, J. D. As revoluções industriais até a indústria 4.0. *Revista Interface Tecnológica*, [s.l.], v. 15, n. 2, p. 480-91, 2018.

SANTAELLA, L. GALA, A.; POLICARPO, C.; GAZONI, R. Desvelando a internet das coisas. *Revista GEMInIS*, [s.l.], v. 4, n. 2, p. 19-32, 2013.

SANTOS, B. P. Alberto, A.; LIMA, T.M.; SANTOS, B. Indústria 4.0: desafios e oportunidades. *Revista Produção e Desenvolvimento*, [s.l.], v. 4, n. 1, p. 111-24, 2018.

SANTOS, B. P. *et al.* Internet das coisas: da teoria à prática. In: *Livro de Minicursos SBRC 2016*. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUIDOS, 34., 2016, Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação (SBC), v. 31, 2016.

SCHLICK, J. STEPHAN, P.; LOSKYLL, M.; LAPPE, D. M. S. Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung. *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2014. p. 57-84.

SOUSA, F. R. C.; MOREIRA, L. O.; MACHADO, J. C. Computação em nuvem: Conceitos, tecnologias, aplicações e desafios. Escola Regional de Computação Ceará, Maranhão e Piauí (ERCEMAPI), 3., 2009, Quixadá. *Anais [...]* Quixadá: ERCEMAPI, 2009. p. 150-75.

TAURION, C. *Cloud computing-computação em nuvem*. Rio de Janeiro: Brasport, 2009.

WANG, L.; TÖRNGREN, M.; ONORI, M. Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, [s.l.], v. 37, p. 517-27, 2015.

YANG, D. L.; LIU, F.; LIANG, Y. D.; A survey of the internet of things. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON E-BUSINESS INTELLIGENCE (ICEBI2010), 1., 2010, [s.l.]. *Proceedings [...]* Atlantis Press, 2010.

SAKURAI, R.; ZUCHI, J. D. As revoluções industriais até a indústria 4.0. *Revista Interface Tecnológica*, [s.l.], v. 15, n. 2, p. 480-91, 2018.

SANTAELLA, L. *et al.* Desvelando a internet das coisas. *Revista GEMInIS*, [s.l.], v. 4, n. 2, p. 19-32, 2013.

SANTOS, B. P. *et al.* Indústria 4.0: desafios e oportunidades. *Revista Produção e Desenvolvimento*, [s.l.], v. 4, n. 1, p. 111-24, 2018.