

Artigo

Modelos de Sistemas de Supervisão na Indústria 4.0

Sousa, F. J. M.¹, Torres, L. P.² e Araújo, T.M.A³

¹ Discente/ IFPA – Campus Parauapebas 1; jucianesophia@gmail.com

² Discente/ IFPA – Campus Parauapebas 2; lilitorres2107@gmail.com

³ Docente/ IFPA – Campus Parauapebas 3; thabatta.araujo@ifpa.edu.br

Recebido: 06/02/2022; Aceito: 14/04/2023; Publicado: 08/09/2023

Resumo: A crescente evolução tecnológica que vem ocorrendo ao longo dos anos tem provocado mudanças significativas na humanidade em todos os contextos, para além de sua relevância nos setores industriais, público e privado. A inserção de diversas inovações no âmbito das Tecnologias de Informação e Comunicação -TICs, tem revolucionado o mundo com o fenômeno da digitalização, onde o marco inicial foi a conexão entre as pessoas, com a utilização de dispositivos, softwares e aplicativos, que além da comunicação, redes sociais e entretenimento, trouxeram outras funcionalidades promovendo inovadores métodos de negócios e produtos voltados para um novo público digital, fruto destas novas tecnologias. Partindo dessa premissa, surge então o fenômeno conceituado como internet das coisas (IoT), possibilitando comunicação agora não mais apenas entre humanos, mas entre máquinas e máquinas (M2M) e toda a cadeia de valor, através da conectividade de dispositivos inteligentes com capacidade de processamento, combinados e integrados a novos materiais, tecnologias novas e já existentes, dando origem a Quarta Revolução Industrial. Para que ocorra monitoramento dos processos, tomadas de decisões, descentralizadas e autônomas, identificação de falhas e agilidade nas correções pertinentes, dentre outras atribuições seja realizada aos moldes da Indústria 4.0, faz-se necessário o uso de sistemas supervisórios que sejam compatíveis com os novos padrões tecnológicos pertencentes a esta. Esta pesquisa aborda modelos de supervisórios utilizados na Indústria 4.0, e por meio de desenvolvimento de pesquisa bibliográfica, em estudo exploratório, visa subsidiar os profissionais e pesquisadores no desenvolvimento de tecnologias que melhorem o desempenho dos processos industriais.

Palavras-chave: Indústria 4.0; IoT; M2M; Digitalização; TICs; Softwares; SCADA.

Models of Supervision Systems in Industry 4.0

Abstract: The growing technological evolution that has been taking place over the years has caused significant changes in humanity in all contexts, in addition to its relevance in the industrial, public and private sectors. The insertion of several innovations in the scope of Information and Communication Technologies - ICTs, has revolutionized the world with the phenomenon of digitization, where the initial milestone was the connection between people, with the use of devices, software and applications, which in addition to communication, social networks and entertainment, brought other features promoting innovative business methods and products aimed at a new digital audience, as a result of these new technologies. Based on this premise, the phenomenon conceptualized as the internet of things (IoT) arises, enabling communication now not only between humans, but between machines and machines (M2M) and the entire value chain, through the connectivity of smart devices capable of processing, combined and integrated with new materials, new and existing technologies, giving rise to the Fourth Industrial Revolution. For the monitoring of processes, decentralized and autonomous decision-making, identification of failures and agility in the pertinent corrections, among other tasks to be carried out along the lines of Industry 4.0, it is necessary to use supervisory systems that are compatible with the new technological standards pertaining to it. This research addresses supervisory models used in Industry 4.0, and through the development of bibliographic research, in an exploratory study, aims to subsidize professionals and researchers in the development of technologies that improve the performance of industrial processes.

Keywords: Industry 4.0; IoT; M2M; Digitization; ICTs; software; SCADA.



1. Introdução

A era da digitalização, conectividade, virtualização e integração é inserida nos contextos socioeconômicos e culturais da humanidade e traz mudanças que impactam demasiadamente a rotina dos seres. Essa inserção tem incentivado novos modos de consumo e criado novas características de clientes, gerando uma nova realidade. A injeção de tecnologias, de forma acelerada, tem provocado grandes transformações nos processos de produção e na disponibilização de serviços para o mercado atual. A nova era é conceituada como a Quarta Revolução Industrial, marcada por grandes avanços tecnológicos, disponibilizados de modo instantâneo, por isso, na maioria das vezes, é nomeada como Revolução Tecnológica. Surge, a partir daí, o que grandes pesquisadores e cientistas, especialistas do ramo, descrevem: o termo Indústria 4.0.

Sustentada por alguns pilares, conforme abordagens científicas, a Quarta Revolução, segundo Schwab (2016) descreve, baseia-se na revolução digital. Segundo Francisco (2018) a Indústria 4.0 e suas tecnologias possibilitou encurtar a distância entre o consumidor e a indústria do produto com a introdução de novos processos. Isso tem descaracterizado modelos antigos de produção, oportunizando a mudança e remodelando a manufatura de produtos e serviços, criando espaço para as chamadas “fábricas inteligentes”.

Um dos principais focos da Indústria 4.0 está na automação dos processos de produção, visando transformações no projeto, fabricação e serviço de sistema e produtos de fabricação, conforme abordado pelo Parlamento Europeu (2015). Com ênfase na aquisição de dados do chão de fábrica e o monitoramento dessas informações para garantia da otimização desse processo, o que fará com que as indústrias sejam mais competitivas e acompanhem as tendências de um mercado bem exigente. E para isso é necessário o uso de ferramentas tecnológicas adequadas para integração de toda a cadeia de valor (chão de fábrica, níveis gerenciais, fornecedores e clientes).

Boaretto, Kovalski e Scandelari (2004), relatam que a disponibilização de várias tecnologias para processos de produção, tratamento das informações e de gestão industrial, além da especificação de ferramentas que sejam adequadas para a coleta de dados e o monitoramento do chão de fábrica, afim de se obter uma manufatura discreta, pode tornar as indústrias muito mais competitivas, por isso abordar sobre os Sistemas Supervisórios de Aquisição de Dados (*Supervisory Control and Data Acquisition - SCADA*), que muito tem ajudado operadores e usuários no controle e gestão da produção torna-se fundamental. Um software SCADA é uma das ferramentas de grande importância para os Sistemas Supervisórios, pois trata-se de uma ferramenta tecnológica, um software de larga utilização em vários processos industriais. Ele viabiliza o monitoramento e o controle, além da aquisição de dados, do chão de fábrica e com isso é possível a visualização do que ocorre lá em tempo real. O uso desse tipo de ferramenta facilita o gerenciamento do processo e possibilita aos usuários manipular as variáveis pertinentes ao processo, quando necessário. São softwares que funcionam como interfaces homem-máquina, conforme Gaidzinski (2003) aborda. Mas, para a efetiva e mais eficiente gestão da produção, um sistema SCADA do antigo modelo de um projeto de manufatura não mais atende aos requisitos do mercado atual, pois a real otimização do processo, aos moldes da Indústria 4.0, requer alcance de toda rede da cadeia de valor (chão de fábrica, colaboradores, fornecedores e clientes).

Embora ainda exista um grande desafio a ser vencido pela frente, essa não é uma realidade tão distante, já que existem diversos trabalhos científicos em curso, fomentados por instituições governamentais e empresariais, focados na implementação de características e funcionalidades para os modelos tradicionais de softwares SCADA.

Diante disso, o presente artigo objetiva a realização de um estudo bibliográfico com a finalidade de discorrer sobre o tema: Modelos de Sistemas de Supervisão na Indústria 4.0 e quais contribuições e melhorias esses novos modelos de sistema implicaram nos processos de produção em que foram inseridos.

2. Materiais e Métodos

Para estruturação e desenvolvimento da pesquisa foi realizado um planejamento, com um avanço que vai desde a identificação do escopo, até a escolha dos métodos utilizados para sua elaboração. A pesquisa é de natureza qualitativa e utiliza-se do método descritivo, aonde embasa-se em uma pesquisa bibliográfica, com um levantamento de material de cunho teórico (artigos, teses e monografias, livros e revistas científicas), visando consolidar dados necessários para a exposição dos temas centrais de cada capítulo, dados que abrangem o desenvolvimento de conceitos, aplicações destes, bem como apresentação de estudos a fim de se montar uma base sólida para as discussões pertinente aos Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA), moldados pelo pilares da Indústria 4.0.

A pesquisa está estruturada da seguinte maneira: a primeira parte (item 3 e seus subitens) da presente pesquisa norteia a respeito do Conceito de Indústria 4.0, em seu aspecto geral, trazendo diversos autores que abordam sobre o tema. Nela é construído todo um contexto histórico que motivou a inserção desse novo paradigma industrial em um mercado que se encontra já globalizado com advento de grandes tecnologias; conhecer os principais os pilares (tecnologias) que a sustenta; analisar como o tema tem sido tratado em alguns países e qual o cenário destes após as

mudanças ocasionadas pela nova Revolução Industrial, com ênfase principalmente na realidade das indústrias brasileiras e os desafios que esta vem encontrando para se enquadrar ao conceito idealizado.

A segunda parte (item 4 e seus subitens) relata sobre o que é um Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados, bem como sua estruturação (arquitetura), princípio de funcionamento e aplicação; sobre a necessidade de implementação desse sistema, tendo como base as tecnologias da Indústria 4.0, no intuito de otimizar ainda mais os processos produtivos. Trata, ainda, sobre as novas características dos modelos de softwares SCADA disponíveis atualmente e se estes já estão compatíveis com o conceito de Indústria 4.0.

Por último, a terceira parte (item 5) e quarta parte (item 6) são expostos resultados e discussões alcançados através do método de pesquisa utilizado, expondo as conclusões acerca do tema; aborda sobre sua importância para o funcionamento de um determinado processo industrial, bem como demonstra em que passo está o Brasil frente a essa nova vertente.

3. Conceito de Indústria 4.0

De acordo com o Parlamento Europeu (2015), o termo Indústria 4.0 originou-se na Alemanha, mas o conceito se sobrepõe amplamente aos desenvolvimentos que, em outros países europeus podem ser rotulados de várias maneiras, como por exemplo, o uso de termos como fábricas inteligentes, a Internet Industrial de Coisas, indústria inteligente ou manufatura avançada. Afirma ainda, que a indústria 4.0 é um termo aplicado a um grupo de transformações rápidas no projeto, fabricação, operação e serviço de sistemas e produtos de fabricação. O termo "Industrie 4.0" tornou-se publicamente conhecido em 2011, ao ser lançado pela *Industry Science Research Alliance* como uma iniciativa estratégica para fortalecer a competição da indústria manufatureira alemã. Em 2013, a associação de profissionais da indústria, representantes de negócios, política, academia e sociedade civil uniram-se com o propósito de garantir que a implementação da iniciativa fosse desenvolvida de forma coerente (HERMANN; PENTEK; BORIS, 2015 *apud* KAGERMANN et al., 2013). Em seu discurso, na feira de Hannover, Angela Merkel chanceler da Alemanha, abordou sobre esse termo conceituando-o como a Indústria 4.0, sendo ele o propulsor da transformação completa de toda a esfera de produção industrial, através da fusão da tecnologia digital e da internet com a indústria convencional. (PARLAMENTO EUROPEU, 2015).

Nos últimos anos, novos desafios para tornar os processos de produção mais eficientes, autônomos e personalizáveis, levou a uma nova revolução industrial. Sendo esta a precursora de um novo conceito de indústria que, atualmente, é utilizado para denominar a predisposição atual de automação e troca de dados em tecnologias de manufatura através da criação de uma "fábrica inteligente", a Indústria 4.0 (GONZALEZ et. al., 2018). Para Sacomano et.al. (2018), o conceito de indústria 4.0 se dar pela fusão de uma base existente de automação informatizada, e uma perspectiva de mercado canalizada à transformação digital. Portanto, o autor acrescenta que a indústria 4.0 pode ser definida como um sistema produtivo, embarcado por dispositivos móveis e computadores conectados à internet ou à intranet, o qual viabiliza a programação, controle, gerenciamento, coadjuvação e inter-relação com o sistema produtivo de qualquer localização do planeta, desde que haja disponibilidade de acesso à internet ou à intranet, com objetivo de otimizar o sistema e alcance de toda rede de valor, desde o fornecedor da matéria prima ao consumidor final e demais *stakeholders*. De modo que a utilização da evolução advinda da indústria 4.0 abarque todos os setores produtivos, não apenas na indústria, e disponibilize mais do que produtos customizados, com a mínima intervenção humana, o que por sua vez reduz diversas limitações nos processos e com isso aumente o poder de produtividade, atingindo assim maior eficiência desejada.

O novo conceito de indústria contará com uma ampla e informatizada rede de serviços, o que viabilizará a automação não só no interior da fábrica, que já possui um regime operacional de produção descentralizado, mas também na sua comunicação com outros participantes de toda a cadeia produtiva (BRETTEL et al., 2014 *apud* PISCHING et al., 2017). Para Hofmann; Rüsç (2017), a indústria 4.0, é denominada como "manufatura inteligente", "internet industrial" ou "indústria integrada". Os termos "Produção Inteligente", "Manufatura Inteligente" ou "Fábrica Inteligente" são usados na Europa, China e EUA para se referir especificamente a redes digitais de produtos (KAGERMANN et al., 2013). O mesmo autor também conceitua o termo indústria 4.0 como a Quarta Revolução Industrial, onde sistemas Ciber-Físicos (CPS – *Cyber-Physical Systems*), integrados por máquinas inteligentes, sistemas de armazenamento e instalações de produção com capacidade de processamento, comunicam-se entre si controlando uns aos outros através da internet das coisas (IoT - *Internet of Things*), o que permite às empresas a criação de redes globais.

Schwab; Davis (2019), afirmam que a Quarta Revolução Industrial representa um novo capítulo no desenvolvimento humano, causado pela progressiva disponibilidade e interatividade de um agrupamento de tecnologias extraordinárias, no mesmo nível que ocorreu com as revoluções anteriores.

3.1. Principais Tecnologias (pilares) da indústria 4.0

A indústria 4.0 está fortemente focada em termos de eficiência, otimização dos processos, segurança, produtividade das operações, desenvolvimento sustentável, e especialmente no retorno do investimento. Várias tecnologias e tendências facilitadoras estão disponíveis para a implementação da Indústria 4.0, conforme explica Coelho (2016). Em estudo publicado em 2015 sobre indústria 4.0 (*Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*) o grupo de consultoria de Boston, *Boston Consulting Group – BCG* (2015), afirma que estamos vivenciando uma nova onda de avanços tecnológicos, os quais deram origem a uma nova tecnologia industrial digital, cunhada como Indústria 4.0 (I4.0), uma transformação impulsionada por nove avanços tecnológicos fundamentais, que são considerados pilares para Indústria 4.0.



Figura 1: Os nove pilares da indústria 4.0. Fonte: adaptado BCG, 2015.

- Internet das coisas: (*Industrial Internet of Things - IIoT*)

O termo Internet das Coisas, cujo significado em inglês é *Internet of Things (IoT)*, emergiu do avanço de várias áreas, tais como sistemas embarcados, microeletrônica, comunicação e sensoriamento, conforme descreve Santos et al (2021). A IoT descreve um mundo onde praticamente qualquer coisa pode ser conectada e se comunicar de maneira inteligente como nunca antes (MADAKAM et al., 2015). Para os mesmos autores a melhor definição para IIoT seria: “Uma rede aberta e abrangente de objetos inteligentes que têm a capacidade de auto-organizar, compartilhar informações, dados e recursos, reagindo e agindo diante de situações e mudanças no ambiente”. A internet das coisas (IIoT) é sem dúvidas um dos elementos primordiais para a Indústria 4.0. A concatenação em rede entre objetos inteligentes, dispositivos diversos, tecnologias e tudo mais que esteja relacionado ao ambiente produtivo, através de dispositivos eletrônicos microprocessados, sensores e atuadores, formam sistemas Ciber-Físicos, que permite a comunicação autônoma e interação entre toda a rede, como também de forma de controle descentralizada, onde a internet desempenha um papel fundamental de conexão entre o mundo físico e virtual. (GONÇALVES et al., 2019).

- *Big Data Analytics* (Análise de Big Data)

O termo Big Data, em tradução básica para a língua portuguesa, significa “grandes dados” (big: importante, enorme, imenso, volumoso) e foi definido originalmente no início dos anos 2000 por um analista do *Gratner Group* (MACHADO, 2018). Para Sacomano (2018), é a grande quantidade de dados oriundos de todos os sistemas, independente do segmento (seja ele produtivo, comercial, marketing etc.), devendo ser corretamente analisado. Pois estes dados disponibilizam informações minuciosas que, sendo empregadas corretamente, denotará o sucesso de qualquer empresa. *Big Data Analytics* dispõe de um conjunto de informações, as quais foram extraídas da enorme quantidade de dados disponíveis, por meio de análises e estudos realizados, sendo então essas informações armazenadas e organizadas de forma prática e que servirão de auxílio às empresas, no que tange a melhor e mais eficaz tomada de decisão (BORDILO, 2017). Para Brahim (2021), a heterogeneidade proveniente dos distintos formatos, tipos de codificação e a variedade das mais diversas fontes de dados, constitui uma forte característica do Big Data.

Na opinião dos autores Vieira, Pedrosa e Soares (2011), o conceito atribuído ao termo Big Data, tende a tornar-se mais simples e fácil de se compreender, ao analisar seus atributos e características que são definidas através dos 5Vs: 1. velocidade; 2. volume; 3. variedade; 4. veracidade; 5. valor.

1. **Velocidade:** ocorre quando os dados são criados e passam a fluir em uma velocidade sem precedentes e devem ser tratados em tempo hábil (MACHADO, 2018).
2. **Volume:** a crescente quantidade de dados gerados disponíveis caracteriza o principal desafio para a utilização do Big Data. Com a expansão das TICs e o advento da digitalização, houve um aumento considerável de dados provenientes de diversas fontes, como das redes sociais, onde são coletados dados do dia a dia de uma pessoa (desde sua localização, gostos e preferências), como transações no meio comercial, coleta de dados através de sensores nas plantas fabris, entre outros.
3. **Variedade:** refere-se aos diversos formatos que os dados são gerados, desde estruturados, numéricos, base de dados tradicionais, texto não estruturado e outros, (MACHADO, 2018).
4. **Veracidade:** aborda sobre a reconciliação das inconsistências e incertezas existentes nos dados. Os dados armazenados devem ser provenientes de fontes confiáveis (PEDDREDDY et al., 2020).
5. **Valor:** característica mais abrangente e que dá sentido a todas as outras, tendo em vista que o objetivo do Big Data é a análise da grande quantidade de dados para extrair informações com potencial de melhorias, transformações e criação. Sendo assim, essa característica diz respeito às análises de todo esse conteúdo que deverá ser de fonte fidedigna, para extrair dados de valor.

- **Cíber Segurança (*Cyber Security*)**

Com o prelúdio da Indústria 4.0, a conexão em rede com os sistemas que englobam uma indústria e toda a cadeia de valor, além de necessária proporciona incontáveis benefícios nos processos de produção (BARBOZA, 2020). A troca de dados e informações de alto volume e muitas vezes com tempo crítico, ocorre entre os componentes do sistema tecnológico, muitos dos quais agem de forma autônoma (KAGERMANN, 2013). Essa conexão viabiliza caminhos para vetores de ataques e exploração de vulnerabilidades, o que pode comprometer a segurança de informações de fundamental importância para os processos produtivos (BARBOZA, 2020). Com o tráfego online de todas as informações, dados e comandos, é viável que haja segurança contra invasões às redes de Internet ou Intranet (SACOMANO, 2018). A segurança cibernética é dedicada a proteger a disponibilidade, privacidade, confidencialidade e integridade dos dados digitais armazenados e/ou transmitidos em qualquer formato (DA SILVA et al., 2020).

- **Computação em Nuvem (*Cloud Company*)**

À medida que a utilização da Internet evoluiu e que aumentou o volume e a complexidade de dados, tornou-se cada vez mais difícil para os sistemas de hardware e software suportar e gerir excessiva carga (LIMA; PINTO, 2019). A computação em nuvem torna-se fundamental para que as informações e dados possam ser acessados de forma fácil de qualquer parte do mundo, desde que se tenha internet, o controle multilocal do processo produtivo e/ou outro que seja necessário (SACOMANO, 2018). A computação em nuvem abrange um agrupamento de artifícios de Tecnologia da Informação que dispõe de diversas vantagens para a Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC). Dentre elas, disponibiliza recursos de armazenamento e processamento no sistema virtual, de forma a atender uma gama de usuários (FALCÃO, 2019). O surgimento da computação em nuvem representa uma mudança fundamental na forma como os serviços de TI são desenvolvidos, implantados, dimensionados, atualizados, mantidos e pagos (DA SILVA et al, 2020).

- **Manufatura Aditiva (*Additive Manufacturing*)**

De acordo com Ramos (2019), a manufatura aditiva ou impressão 3D foi teorizada por Hideo Kodama em 1981, quando este tentava desenvolver uma técnica de prototipagem rápida. Hideo desenvolveu dois métodos de fabricação de modelos de plástico tridimensional com polímero termofixo foto-endurecedor. Chuck Hull descobriu, em 1984, a primeira técnica de se produzir um protótipo a partir de um arquivo virtual, cunhada de estereolitografia – do inglês *Stereolithography* (SLA) - e patenteada em 1986 (MIRANDA; JESUS; SILVA, 2018). Após a descoberta desta técnica nas décadas seguintes surgiram novos métodos de impressão em 3D, a exemplo, a *Fused Deposition Modeling* (FDM) ou modelagem de deposição fundida, desenvolvida e patenteada por Scott Crump, em 1989, sendo esta a tecnologia mais utilizada atualmente (DABAGUE, 2014). Também chamada de fabricação aditiva, a impressão em 3D consiste na criação de um objeto físico por impressão, camada sobre camada, de um modelo ou desenho digital em 3D (SCHWAB, 2016). Dos materiais que são mais utilizados na manufatura aditiva, destacam-se: os polímeros, os metais, os materiais cerâmicos e compósitos. Esses materiais são escolhidos dependendo da aplicação requerida e da categoria de manufatura aditiva adotada (ARAÚJO, 2021).

- Realidade Aumentada (*Augmented Reality*)

A Realidade Aumentada (RA) é uma tecnologia que integra o mundo físico ao virtual de modo a promover a exposição de elementos virtuais sobre a imagem do ambiente real, por meio de algum dispositivo eletrônico para a visualização das imagens, como computadores, smartphones, tablets e outros. A RA pode ser empregada nas mais diversas e variadas aplicações, em espaços internos e externos (MESQUITA; MOREIRA, 2018). Segundo Westerfield; Mitrovic; Billinghurst (2015), a propriedade que a RA possui de conciliar o ambiente real com objetos virtuais, a qualifica como recurso ideal para treinamento em situações que demandem de manuseio de objetos, como execução de tarefas de manutenção e montagem manual. Ainda, segundo eles destacam, que desta forma a RA tem o potencial de fornecer uma experiência de treinamento mais intuitiva e interativa, eficiente, e viabiliza novas possibilidades para o desenvolvimento rápido de habilidades.

- Integração Horizontal e Vertical do Sistema

Para Wang et al. (2016), as principais características da Indústria 4.0 estão relacionadas a integração horizontal, vertical e de engenharia, onde as integrações horizontal e vertical constituem a base para a integração do processo de engenharia de ponta a ponta em toda a cadeia de valor. A horizontal ocorre por meio de redes de valor com a finalidade de facilitar a colaboração e estimular a competição entre as organizações que poderão formar ecossistemas eficientes. Por sua vez, a integração vertical permite a criação de sistemas de manufatura flexível e reconfigurável, a qual caracteriza-se pela agregação dos subsistemas hierárquicos dentro da fábrica. Com a integração horizontal e vertical as empresas passam a ter um controle mais efetivo e eficaz dos processos de produção, podendo gerenciar não apenas dentro da organização, como também todo o ambiente externo, que de alguma forma contribui ou faz parte do processo de produção. (GONÇALVES et al, 2019). Hermann; Otto; Pentek (2015) *apud* Kagermann, et al. (2013) informam que a integração dos sistemas de manufatura se dar pela conexão verticalmente em rede com processos de negócios em todos os níveis dentro da fábrica, e horizontalmente conectados a redes de valor externa a fábrica e dispersas, que podem ser gerenciadas em tempo real, desde o contato com o cliente para solicitar a confecção de um produto, até a logística final. O grande objetivo dessa integração, produção e tecnologia, é obter maior eficiência através da dinâmica e autonomia nos processos, gerando produtos com maior qualidade e menor custo (GONÇALVES et al. 2019).

- Simulação

A Simulação é uma ferramenta que permite às empresas, simular e testar vários cenários, num curto espaço de tempo e escolher a melhor solução para as suas necessidades (EUSÉBIO, 2019). De acordo com Abreu et al. (2017), esse tipo de sistema computacional vem sendo muito utilizado ao longo desses anos e aprimorado a cada dia com o objetivo de atender à crescente demanda do mercado atual, em resultados altamente confiáveis, mais rápidos e sem excessos de investimentos. Os mesmos autores ainda afirmam que a abordagem tecnológica da simulação dentro do conceito de Indústria 4.0, mantém o papel pragmático de absorção do conhecimento prévio das aplicações e atividades que seriam executadas em um plano físico e/ou na prática.

- Robôs Autônomos

Para Schwab (2016), há pouco tempo atrás, o uso de robôs era destinado a indústrias específicas, para a realização de tarefas onde o ambiente ou condição eram extremas para seres humanos, como por exemplo, as fábricas de automóveis. Hoje, no entanto, o uso dos robôs é cada vez mais crescente para realizar tarefas diversas em todas as esferas com uma ampla gama de aplicações, seja na agricultura de precisão ou na enfermagem. Na Indústria 4.0 os robôs autônomos possuem também a capacidade de “aprender sozinho” e habilidades cuidar de si mesmo, além de mudar suas estratégias de acordo com o ambiente em que se encontram. Além disso, eles conseguem se comunicar com outras máquinas, realizar tarefas de forma mais rápida e segura, viabilizando a redução de custos (CHIMIELEWSKI; SILVA; LEITE, 2020). De acordo com Lin, Abney, Bekey (2011), faz-se necessário dissociar a comparação de robôs com computadores e outros dispositivos, em seu sentido mais basilar, robô pode ser definido como uma máquina projetada que sente, pensa e age, e para isso um robô deve possuir sensores, atuadores, além de uma capacidade de processamento que emule alguns aspectos da cognição.

3.2. Cenário de alguns países do exterior frente a nova Revolução Industrial e Tecnológica

A primeira Revolução Industrial, marcada pelo surgimento das máquinas a vapor, indústria têxtil e locomotivas, deram início às evoluções tecnológicas futuras. Após três grandes revoluções industriais, nos aproximamos da quarta grande revolução, a Indústria 4.0. Deste modo, como aconteceu no século XVIII, onde a Inglaterra deu início a primeira revolução, países como Alemanha, Estados Unidos e China já deram o primeiro passo rumo a essa nova revolução, incorporando propostas de transformação em seus planejamentos industriais (LIMA, PINTO, 2019).

No cenário global a Indústria 4.0 se desenvolve de maneira constante, a precursora da Quarta Revolução Industrial deu início a um plano de desenvolvimento, a “plataforma 4.0”. E esse consenso, em torno da Indústria 4.0, ocorreu por causa do resultado de um grande esforço institucional, com origem na iniciativa privada e que permitiu seu lançamento, em 2011, como sendo uma plataforma de convergência e de colaboração a favor da competitividade da indústria alemã (ARBIX et al., 2017). O governo federal alemão apoiou a ideia anunciando que a *Industrie 4.0* será parte integrante de sua estratégia de alta tecnologia “*High-Tech Strategy 2020 for Germany*”, com vista na liderança em inovação tecnológica (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2015). Segundo Arbix et al. (2017), a plataforma Indústria 4.0 nasceu por iniciativa do empresariado em conjunto com centros acadêmicos e outras entidades da sociedade civil, sendo inserido na política oficial do governo somente em 2015, tornando-se parte de um plano de governo onde são tomadas decisões de impacto a nível social que profissionaliza sua população e apresenta ao mundo suas perspectivas elaboradas sobre o futuro social, técnico, ambiental e demográfico da Indústria 4.0. Os mesmos autores denotam ainda que a plataforma possui três diretrizes, as quais proporcionam uma diversidade única que atrai o interesse de governos, empresas e diversos setores econômicos do mundo: a) pela sua perspectiva voltada para o desenvolvimento em tecnologias de manufaturas avançadas com potencial disruptivo; b) por seu tempo de investimento que fundamenta-se em processos de médio a longo prazo; e por último, c) a participação de associações com representantes dos diversos setores da iniciativa privada, instituições acadêmicas, setores público, sindicatos, etc, o que agrega mais relevância ao plano de desenvolvimento. Logo, é perceptível que a proposta da Alemanha deriva de uma colaboração tanto privada, governamental, acadêmica e social em forma de meta, para a integração constante e progressiva das tecnologias vindouras sem grandes impactos negativos para a sociedade em geral de seu país. Kagermann et al. (2013), recomenda que com o advento da disseminação da Internet das Coisas e Serviços para o ambiente de fabricação a Alemanha como fornecedor líder de equipamentos de fabricação e no campo de sistemas embarcados, utilize esses pontos fortes para liderar essa nova revolução industrial.

No ano de 2012, o governo dos Estados Unidos (EUA) que à época era presidido por Obama, em face à chegada da nova tendência da indústria, elaborou o plano de desenvolvimento chamado *The National Network of Manufacturing Innovation* (NNMI), renomeado mais tarde para *Manufacturing USA*, o qual tem como ideia central o desenvolvimento de avançados e simultâneos sistemas de produção e transmissão de tecnologias para a resolução de problemas, formando um ecossistema com institutos de pesquisa, academias, empresas privadas de pequeno, médio e grande porte (ALCÂNTRA, 2020 *apud* ARBIX et al., 2017). O Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial (IEDI) em seu estudo nomeado de “Indústria 4.0: A Quarta Revolução Industrial e os Desafios para a Indústria e para o Desenvolvimento Brasileiro”, afirma que os EUA também possuem uma política bem estruturada para esta grande transformação que se anuncia, contudo, o termo utilizado para descrever o programa de desenvolvimento norte americano chama-se manufatura avançada. No entendimento de Arbix et al. (2017), em comparação com o projeto alemão, o plano dos EUA é mais temático variando suas prioridades em termo de tecnologias a ser estudada tendo uma ampla gama de opções de desenvolvimento, além de um maior financiamento privado.

No final do ano 2014, o governo Obama pôde então prosseguir com a criação de uma rede de Institutos de Inovação Industrial (IMIs) regional, a qual previa a criação de 41 institutos no objetivo de acelerar o desenvolvimento e a utilização das inovações tecnológicas avançadas com larga aplicações, e no intuito de apoiar e incentivar o consumo de tecnologia de fabricação, superando a diferença entre laboratório de pesquisa e mercado em áreas tecnológicas-chave e para fomentar a formação de mão de obra especializada, qualificando os trabalhadores para atuar frente às novas tecnologias (IEDI, 2018).

A China desenvolveu em maio de 2015 o plano *Made in China 2025* (MIC 2025), um plano estratégico parcialmente inspirado na iniciativa da plataforma Indústria 4.0 da Alemanha, com foco em programas econômicos que promete um alto grau de desenvolvimento econômico implementado em três fases, na primeira fase a China se junta a fileira dos países industrialmente fortes e ao concluir a terceira fase o país se tornará um dos principais países a liderar a nova industrialização (IEDI, 2018). Esta iniciativa visa transformar a opinião tradicional sobre a China como uma “fábrica global” e dotá-la de uma nova imagem – “produção avançada inteligente” (LI; POGODIN, 2019). Esse plano durou mais de dois anos para ser concluído e envolveu uma centena de profissionais da Academia Chinesa de Engenharia (CAE). Esses profissionais mantiveram constante diálogo com representantes do setor privado (ARBIX et al., 2017).

O Japão é caracterizado como uma das mais sofisticadas nações industriais do mundo, pois detém de empresas líderes em diversos setores de mercado. Tudo isso se deve ao sucesso da sua abordagem adotada, político-econômica de incentivo ao desenvolvimento nacional (DE SOUSA JUNIOR; BURGER; CÁRIO, 2019). De acordo com o IEDI (2018), desde 2015 o governo japonês vem exercendo medidas eficientes, focadas na celeridade da realidade da Quarta Revolução Industrial no país, viabilizada pelo advento da Internet das Coisas (IoT), Big Data, Robótica e Inteligência Artificial (AI), com propósito de estimular a competitividade da economia japonesa e arquitetar novos mercados, em distintos setores, como por exemplo, a indústria de transformação, a medicina, a agricultura, a distribuição, entre

outras. Destaca ainda que em resposta a Quarta Revolução Industrial o governo japonês adotou uma agenda com um direcionamento minucioso de médio e longo prazo, que combina estratégias compenetradas no desenvolvimento de competências tecnológicas específicas, como Robótica, Tecnologia da informação (TI), Inteligência Artificial (AI), dentre outras, fortemente alicerçado na coparticipação do setor privado com planejamento de conversão da economia e da sociedade, baseado na difusão dos resultados alcançados nos mais diversos setores da atividade econômica e da sociedade.

Diante do exposto pode-se verificar que o recente modelo produtivo idealizado inicialmente pela Alemanha está caminhando para se tornar uma realidade visível em diversos países, segundo uma pesquisa divulgada pelo fórum Econômico Mundial, no início de 2018, além da Alemanha e Estados Unidos, o Japão, Coreia do Sul, Dinamarca, Finlândia e Suécia são os países que já deram os primeiros passos rumo a essa nova tendência, alcançando as primeiras posições do ranking de nações nas quais as evoluções da Indústria 4.0 já têm grandes proporções industriais. (MUSSIO; DA SILVA FILHO, 2021 *apud* YAMADA; MARTINS, 2018).

3.3. Desafios para Indústria brasileira diante dessa nova Revolução Tecnológica

Na ampla gama de conhecimento que se necessita para o total desenvolvimento da nova revolução industrial, revolução 4.0, alguns países como “Alemanha, China, Estados Unidos e Japão” já são considerados protagonistas, graças a investimentos em pesquisas científicas de ponta, comprometimentos com suas metas pré-estabelecidas e desenvolvimentos de planos nacionais verdadeiramente eficientes. De certa forma a causa e efeito também se aplica na nova revolução, pois a eficiência nas pesquisas está diretamente ligada ao grau de protagonismo dos países na nova era tecnológica, por causa de seus investimentos e colaboração com diversos setores da sociedade. De acordo com Lima e Gomes (2020), EUA e China ganham destaque entre os demais países pela quantidade de publicações de estudos científicos (geração de inovações) voltadas para os termos característicos da indústria 4.0, criando assim um leque de oportunidades tecnológicas que parece discerni-los dos demais países. Enfatizam ainda, que a Índia também, de alguma forma, mostra se deslocando em direção à Indústria 4.0, em contrapartida, o Brasil está muito aquém da média de acordo com os números apresentados sobre o tema em questão. A exemplo disso percebe-se o quão atrasado o país está em relação a industrialização, e isso foi evidenciado com a Pandemia da Covid-19, pois o país se viu refém da importação de produtos básicos para uso na saúde (EPis, seringas, agulhas, além de tecnologias mais complexas, como por exemplo, os respiradores), equipamentos utilizados em cuidados intensivos, embora o país tenha tido um certo protagonismo no desenvolvimento das vacinas, mostrando que há iniciativas no âmbito de pesquisas científicas.

Como dizia Leonardo Boff “todo ponto de vista é a vista de um ponto”, com vista no cenário global, a revolução 4.0 se desenvolve de maneira constante, porém, se analisarmos países que são arcaicos tanto na estrutura industrial quanto no planejamento de metas nacionais e pesquisas científicas, constataremos que não é necessariamente verdade, pois muitos países ainda têm uma longa e árdua jornada a percorrer até o novo modelo industrial. Tendo em vista, que a pesquisa científica é sem dúvidas um dos fatores que contribuem sobremaneira para o desenvolvimento desta nova revolução, conclui-se que os países que ainda não estão investindo nesta área, tendem a permanecer estáticos em relação a essa evolução, caso do Brasil, que apesar de ser a décima segunda maior potência econômica do mundo, ainda se encontra praticamente inerte frente a chegada da nova era tecnológica.

De Sousa Junior, Burguer e Cário (2019), afirmam que a baixa introdução de novas *startups* no mercado, provocada pela falta de aplicação de recursos, assim como a frágil inter-relação das empresas com centros acadêmicos e pesquisa, geram impactos negativos, que associados às más condições de vida de uma grande parcela da população, ocasionam grandes entraves, impedindo o país de avançar rumo a nova era tecnológica. Além dos pontos supracitados a falta de ação por parte do poder público, resulta em um atraso no progresso evolutivo da indústria. De acordo com a FIRJAN (2016), grande parte das indústrias brasileiras estão ainda em processo de transição no que tange ao uso de linhas de montagem e da energia elétrica, para a terceira revolução industrial caracterizada pela automatização dos processos.

Os principais fatores em que o país precisa se destacar para alcançar o desenvolvimento mínimo necessário para a implementação da Indústria 4.0, é a criação de políticas estratégicas inteligentes de incentivos, considerando que as atuais estão obsoletas, dispor de desenvolvimento tecnológico e firmar parcerias com as instituições acadêmicas, para a formação de profissionais altamente qualificados voltados para as áreas tecnológicas da indústria e, sobretudo, fomentar a pesquisa científica (TADEU; SANTOS, 2014).

De acordo com o IEDI (2017), o Brasil precisa evoluir nas tecnologias oriundas da terceira revolução industrial, para então, ser capaz de alcançar um nível que o possibilite planejar um conjunto de ações para o estabelecimento de um sistema industrial apropriado para a Indústria 4.0.

Apesar do Brasil estar ainda transitando entre a segunda e terceira revolução industrial, operando com algumas plantas fabris automatizadas, porém, fazendo uso de tecnologias limitadas de seus parques industriais estarem com anos de atraso em relação a outros países, ainda assim o país possui um enorme potencial interno, ser fornecedor de

bens manufaturados a diversos países (apesar de ser bens primários e *commodities*), conecta-o às principais economias do mundo e abre um leque de possibilidades de melhoria para a nação. No âmbito das chamadas ondas tecnológicas, onde não necessariamente deve-se passar pelos mesmos estágios que os países desenvolvidos passaram, e levando em consideração que o Brasil está a muito tempo estagnado sem usufruir do seu enorme potencial para explorar as mais diversas possibilidades que tem para o crescimento da indústria, o país pode e deve pular etapas para a implementação da Indústria 4.0, adotando as inovações tecnológicas pertinentes, por mais que os ciclos anteriores não tenham sido realizados (FIRJAN SENAI, 2019).

Conforme a nova revolução é introduzida, surgem novas oportunidades para diversas empresas em diversos setores da economia. Um dos fatores fundamentais para a competitividade entre as empresas no Brasil está atribuída a qualidade de sua mão de obra, que trará desafios para empresa, colaboradores, governo e academias, demandando assim de esforços em conjunto, onde cada parte desempenha uma importante função. Os colaboradores terão de entender e aceitar essa nova mudança, as empresas por sua vez deverão criar ambientes de inovação que proporcione condições para qualificação e desenvolvimento da mão de obra, as academias deverão estar aptas a preparar profissionais para essa nova era, dispondo de todo conhecimento necessário para tal, e o governo, que sem dúvidas tem um papel fundamental neste processo, deverá introduzir políticas públicas de incentivo e fomento a qualificação das pessoas, ampliando o desenvolvimento social do país, preparando-o para o processo de transição entre as revoluções (DOS SANTOS; RUGGERO; DA SILVA, 2021 *apud* FIRJAN SENAI, 2019).

Diante do exposto podemos concluir que o Brasil ainda está muito longe do conceito de Indústria 4.0 adotado nos países que estão liderando esse novo paradigma. No entanto, segundo Oliani et al. (2020), várias iniciativas do Governo Federal, Confederação Nacional da Indústria e outras entidades privadas estão juntando esforços, em diversas frentes, para a implantação de uma política para Indústria 4.0 no Brasil.

Em março de 2018, no Fórum Econômico Mundial foi lançado, por meio da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (BRASIL/ABDI) e do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC), a agenda brasileira para a Indústria 4.0. A iniciativa consiste em um conjunto de ações que tem por objetivo contribuir com o desenvolvimento no setor produtivo, principalmente das empresas de pequeno e médio porte, com uma série de medidas de apoio para o empresário que pretende trilhar o caminho da digitalização (BRASIL/MDIC, 2018).

Em 2016 foi publicado o Plano de Ação para a Manufatura Avançada, a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação para o período de 2016 a 2022, pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). A iniciativa tem por objetivo incentivar o fortalecimento da cooperação entre as universidades e empresas, para elevar o país a um novo patamar de desenvolvimento (BRASIL/MCTIC, 2018). O Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI, elaborou uma carta onde apresenta quatro passos que o Brasil necessita trilhar para o progresso na era 4.0, que são respectivamente:

- A otimização dos processos produtivos da indústria, ou seja, conhecer suas deficiências e oportunidades, adotar métodos eficientes e potencializar a produtividade com as novas tecnologias;
- Requalificação de trabalhadores, pois é fundamental introduzir novas tecnologias e serão eles que a farão, atualizando assim os diversos setores da indústria, utilizando-se de um apanhado de informações e conhecimentos tecnológicos, bem como devem possuir habilidades interpessoais, criatividade, espírito de liderança e boa comunicação;
- Inserção de tecnologias com baixo custo, a Indústria 4.0 utiliza-se da adaptação das tecnologias já existentes, provenientes de avanços tecnológicos anteriores, com isso, o mercado já dispõe de tecnologias como computação em nuvem, big data, internet das coisas, uso de sensores, a preços acessíveis;
- A indústria deve investir em pesquisa, desenvolvimento e inovação. Está mais que nítido que o caminho para a competitividade e o sucesso está diretamente relacionado com grau de investimento em pesquisa e inovação, o que proporcionará maior flexibilidade às indústrias e desenvolvimento de novos produtos e serviços, com potencial de impactar o mercado global (FIRJAN SENAI, 2019).

4. Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA)

Inicialmente um Sistema de Supervisão compreendia o gerenciamento e controle de um processo produtivo, o qual era feito através de uma sala composta por várias mesas e enormes painéis – os chamados painéis sinóticos (sinóticos), onde era realizado todo o controle das tarefas inerentes ao chão de fábrica e colhidas todas as informações e dados do processo, para realização de futuros relatórios. Mas com o passar dos anos e o advento de várias tecnologias no setor Industrial, o Sistema de Supervisão ganhou novas características com a introdução de mais funcionalidades. O contexto histórico do Sistema de Supervisão relaciona-se com a história da automação e seu desenvolvimento ao longo dos anos, pois, segundo Junior (2019), ele é uma das principais bases da automação industrial.

Os Estados Unidos foi o país precursor do termo automação, o qual foi usado pela primeira vez no ano de 1946, na necessidade de se reduzir a intervenção humana nos processos produtivos e com o objetivo de aumentar a produção em um curto espaço de tempo, para suprir a demanda que crescia de forma acelerada. O motivo de uma revolução industrial sempre esteve ligado a essa necessidade de se produzir em grande escala, segundo abordado em Goeking (2010). Ainda, segundo ele, a automação deu entrada para a substituição do trabalho executado de forma braçal por máquinas que executariam as mesmas tarefas, mas com maior eficiência e qualidade, e que essa revolução acelerou o processo de mudanças e incentivou o desenvolvimento de tecnologias.

Por muito tempo o termo automação esteve ligado ao setor industrial, mas com o passar dos anos, conforme De Araújo e Da Silva Júnior (2003) abordam, a automação deixou de ser inerente ao setor operacional (chão de fábrica) e explorou fronteiras mais amplas, se abrangendo da automação de negócio ao invés de ser apenas uma simples automação dos processos produtivos e equipamentos que os compreende, com isso tornou-se possível enormes ganhos de produtividade ao integrar tarefas distintas, como por exemplo, a elaboração de projetos, gerenciamento administrativos e gerenciamento da produção. Produzir mais produtos em menor tempo e com maior qualidade, com a menor intervenção humana possível, são as principais vantagens que a automação traz ao setor de produção (GOEKING, 2010). Com a automação dos processos produtivos associada ao uso de equipamentos certos, responsáveis pela produção, o resultado mais concreto é a otimização dos processos.

Com o crescimento da automação, no âmbito industrial, são inseridas nos processos produtivos uma variedade e grande quantidade de equipamentos automáticos, com recursos diversos (DE ARAÚJO; DA SILVA JÚNIOR, 2003). Antes, o controle de um processo industrial automatizado era feito através de painéis sinópticos (sinóticos). Eram enormes painéis pneumáticos localizados nas salas de controle (JUNIOR, 2019), compostos por instrumentos de medição, chaves de comando e sinaleiras. Nesses painéis, o processo produtivo era representado como uma espécie de mapa gráfico, ou seja, um fluxograma do processo. Eles eram responsáveis por receber os sinais analógicos que eram enviados aos instrumentos de medição, por meio de linhas de pressão, cujos valores eram padronizados entre 20 e 100kPa, proporcionais às grandezas que estavam sendo medidas (JUNIOR, 2019).

Em 1968, a empresa Allen-Bradley, que na época já produzia contatores e alguns dispositivos elétricos, cumpri a missão de desenvolvimento do primeiro Controlador Lógico Programável – CPL (da sigla em inglês *Programmable Logic Controller* – PLC), atendendo as solicitações da empresa General Motors (GM). O CLP foi inserido na planta industrial da GM em 1969, e com isso pode possibilitar aos Estados Unidos e a Europa serem os primeiros beneficiados com a tecnologia que só chegou ao Brasil mais tarde, nos anos 80 (GOEKING, 2010). Foi também nos anos 80 que surgiu o termo Pirâmide da Automação, onde todo o processo produtivo passou a ser dividido hierarquicamente em cinco níveis. Nessa pirâmide os níveis dos equipamentos eram divididos de acordo com a sua atuação na indústria e mostrava como as informações eram filtradas do nível 1 e seguiam ao nível 5, conforme relata Goeking (2010). Os níveis 4 e 5 emitiam as ordens administrativas e repassavam ao nível 3, o qual estava responsável por garantir a realização das tarefas desenvolvidas nos níveis 1 e 2.

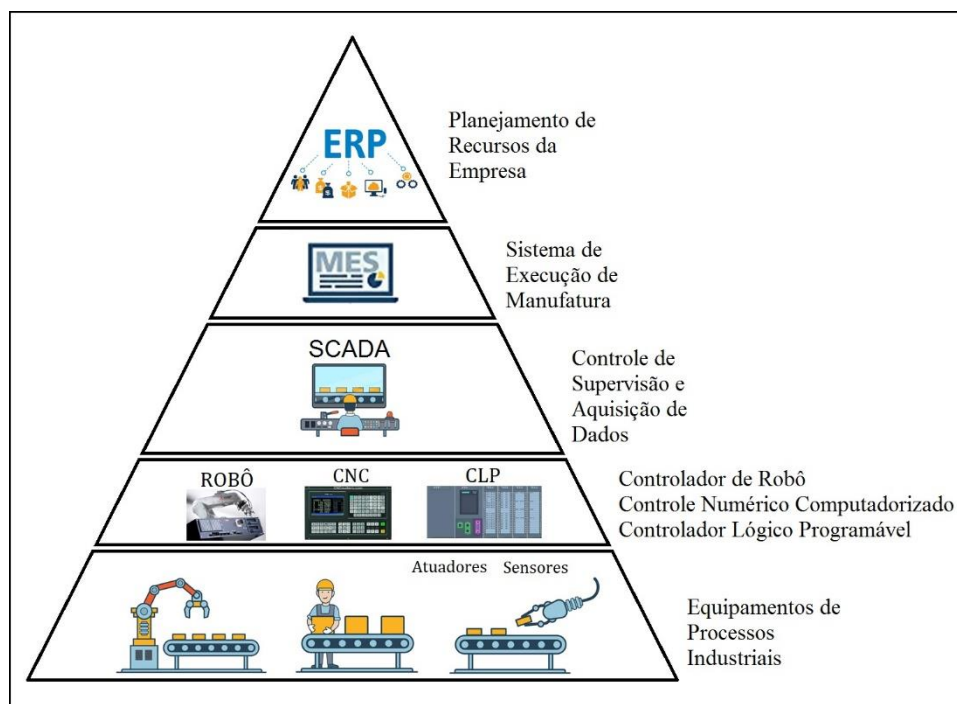


Figura 2. Pirâmide da Automação Industrial. Fonte: adaptado PEIXOTO, 2021.

Todo o gerenciamento e o controle das tarefas inerentes aos processos produtivos eram feitos de forma manual, como mencionado anteriormente, mas com advento do PC (*Personal Computer* – Computador Pessoal) as salas de controle ganharam um novo layout, onde os painéis sinópticos ficaram em desuso e as mesas de controle deram espaço para o PC, que passou a ser a plataforma preferida para a supervisão e operação de processos (SEIXAS FILHO, 2000). As empresas viram que todas as atividades operacionais relacionadas à produção poderiam ser incorporadas num sistema computadorizado integrado, onde era possível auxiliar, aumentar e, também, automatizar essas atividades (DE ARAÚJO; DA SILVA JÚNIOR, 2003). E com o aparecimento do computador surgem também softwares capazes de desempenhar várias funções no que tange ao controle e monitoramento dos processos industriais: os Sistemas de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados, também chamados de softwares SCADA (cuja sigla em inglês significa *Supervisory Control and Data Acquisition*). Os softwares SCADA apareceram com diversos tamanhos, em diversos sistemas operacionais e com diversos repertórios de funcionalidades (SEIXAS FILHO, 2000).

O sistema SCADA localiza-se no terceiro nível da Pirâmide da Automação Industrial, conforme pode ser visto na Figura 2, onde ocorre o controle, a supervisão e manipulação de variáveis pertinentes a um processo de produção industrial. É nesse nível que ocorre a supervisão dos processos que são executados por uma determinada célula de trabalho em uma planta física. Na maioria dos casos eles também obtêm suporte de um banco de dados composto com todas as informações relativas ao processo (MARCIANO et al., 2019).

Os Sistemas Scada têm a responsabilidade de reunir as informações que são coletadas nos equipamentos dos níveis 1 e 2 e repassá-las aos níveis superiores da administração (níveis 4 e 5) (GOEKING, 2010). Eles têm como função o controle e o monitoramento de um processo produtivo em tempo real, ou seja, a função principal do SCADA é mostrar o que ocorre no chão de fábrica naquele exato momento (MARTINS & BREMER, 2002 *apud* BOARETTO; KOVALESKI; SCANDELARI, 2004), assim é possível o monitoramento e rastreamento das informações e dados desse processo. Essas informações e dados podem ser acessados, manipulados, analisados e, quando requisitados, são apresentados aos usuários que são responsáveis pelo controle do processo. Esses tipos de sistemas, segundo Gaidzinski, (2003) são desenvolvidos para funcionar como interfaces homem-máquina, como estações de supervisão dos processos produtivos ou, ainda, como estações concentradoras de dados nos processos produtivos distribuídos.

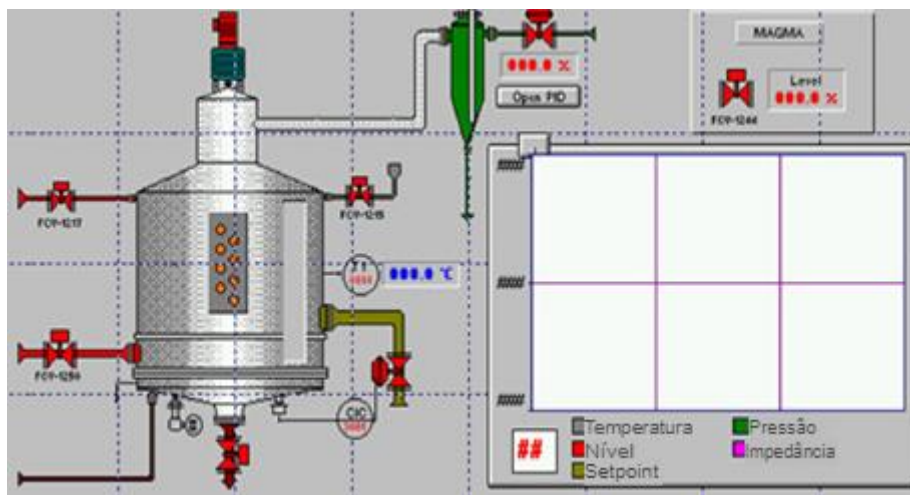


Figura 3. Exemplo de interface gráfica do software SCADA. Fonte: adaptado de COELHO, 2010.

A arquitetura do Sistema de Supervisão, de acordo com Junqueira (2003), é composta por quatro elementos básicos: o software de supervisão (SCADA); rede de comunicação; estações remotas de I/O e instrumento de campo. Sensores e atuadores, além de rede de comunicação, estações remotas (necessárias para aquisição e controle) e de monitoração central (o software SCADA) são os componentes físicos que compreendem um Sistema de Supervisão (FERNANDEZ; CORRÊA, 2011). É através da estação central que o sistema fornece uma espécie de ‘foto’ instantânea do processo produtivo monitorado e é plotado, em tel a planta digital desse processo. Também são apresentadas as mais diversas informações, como por exemplo, peças que estão sendo produzidas, o tempo e os motivos de parada de uma determinada máquina, além do tempo de ciclo, etc. (JUNQUEIRA, 2003). Essa estação é a unidade principal do sistema SCADA e equivale a uma unidade mestre numa arquitetura mestre-escravo, ela é responsável principalmente por coletar, armazenar e, também, processar informações que são geradas pelas estações remotas (MULLER, 2017). As estações remotas informam ao software de supervisão o status de cada um dos instrumentos de campo através da rede de comunicação (JUNQUEIRA, 2003). Assim, um sistema SCADA completo, compõe-se de sistemas de controle, ou outros que se relacionem com equipamentos físicos, que criam a interface (MARCIANO et al, 2019).

Sensoriamento, Rede de Campo, Supervisão da Produção, Sistema Repositório de informações da produção (Base de Dados) e Diagnóstico do Chão de Fábrica, são módulos que compreendem um Sistema de supervisão, conforme descreve Junqueira (2003).

- **Sensoriamento:** nesse módulo estão compreendidos os equipamentos e dispositivos que captam os sinais das máquinas dispostas no chão de fábrica. Esses sinais são transformados em dados/informações que servirão para análises futuras e criação de relatórios para uma melhor gestão do processo de produção. Ex: leitores, contadores, botoeiras, sensores diversos, etc.
- **Rede de Campo:** responsável por coletar as informações do módulo anterior (sensoriamento) e enviar para o software SCADA. Subdivide-se em Master da rede (faz o controle do funcionamento da rede em si); os Módulos I/O (conecta-se com os equipamentos e dispositivos diversos, presentes no módulo sensoriamento); Cabeamento (meio físico responsável pela transmissão dos sinais); Complemento (que apenas auxiliam no funcionamento da rede);
- **Supervisão da Produção:** é o próprio software SCADA, onde são feitas as análises dos dados adquiridos através das informações obtidas do processo, como por exemplo, o tempo de cada ciclo em um processo produtivo e/ou o tempo de parada dos equipamentos para fins de manutenção, além de disparo dos alarmes, etc. Essas informações são plotadas em uma tela (interface gráfica) que permitem os usuários fazerem as análises;
- **Repositório de informações da produção (Base de Dados):** é o módulo que armazena as informações do processo de produção e permite a análise histórica do processo. É através dele que o Sistema integra-se com outros softwares, tais como APS, ERP, MES - software de Planejamento, etc;
- **Diagnóstico do Chão de Fábrica:** é qualquer ferramenta computacional que faz a captura das informações da base de dados operacional.

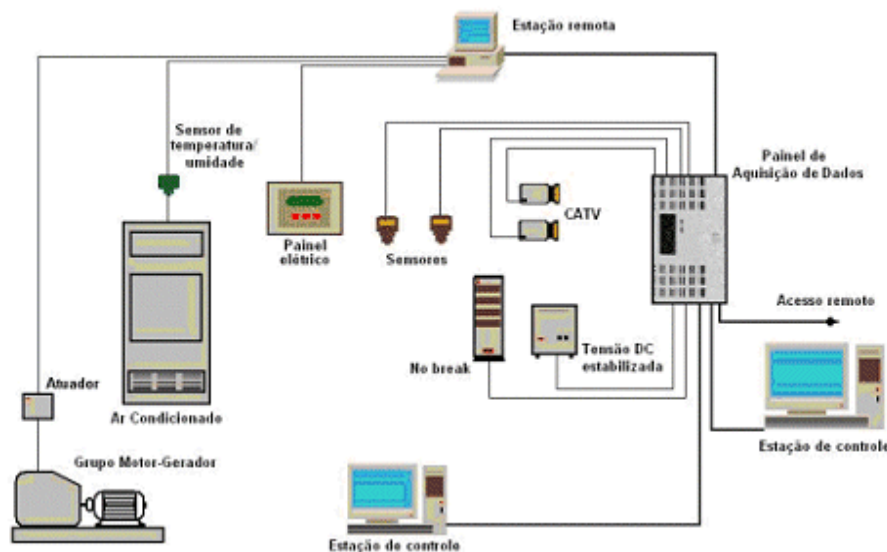


Figura 4. Exemplo de Arquitetura de um Sistema SCADA. Fonte: PINHEIRO, 2006.

O software SCADA também é utilizado como fonte de dados para bancos de dados específicos (historiadores industriais), com capacidade de armazenamento e consultas baseadas no tempo (PAIOLA, 2012). Ele é conectado a um CLP via rede, que também se interliga com os demais instrumentos de campo (sensores e atuadores) para cumprir a tarefa de destaque nas etapas avançadas de controle e execução de processos produtivos (DE ARAÚJO; CORREIA; SÁTYRO, 2020), pois eles servem para interligar sinais a partir de interfaces (MARCIANO et al., 2019). Os CLPs são dispositivos digitais que possuem uma memória programável capaz de reunir as instruções que devem ser repassadas para as máquinas e os equipamentos responsáveis pelo processo produtivo, é essa memória que permite o CLP controlar todo o processo fabril (MULLER, 2017).

Coelho (2010), descreve o funcionamento de um sistema SCADA explicando que este trabalha realizando a coleta dos dados e logo em seguida apresenta-a ao operador. Ele possibilita a identificação das variáveis pertinentes ao processo de produção, tais como: temperatura, nível, vazão, pressão, etc. Essas variáveis são representadas através de tags, podem ter características numéricas ou alfanuméricas e que são capazes de executar funções computacionais, como por exemplo, operações matemáticas e lógicas, com vetores, *strings*, etc. Elas ainda representam pontos de entrada/saída do processo que está sendo monitorado e controlado. O banco de dados são responsáveis por armazenar

as informações dos processos anteriores, informações estas que são transformadas em dados. Possui, também, uma configuração, que é típica do sistema, que permite a geração de sinais sonoros (MARCIANO et al, 2019), ou seja, esses sistemas podem também verificar condições de alarmes que identificam quando o valor da tag ultrapassa uma faixa ou condição pré-estabelecida, com isso é possível programar a gravação de registros em Bancos de Dados, ativar sinais sonoros, exibir mensagens, configurar a mudança de cores, envio de mensagens por pager, e-mail, celular, etc (COELHO, 2010).

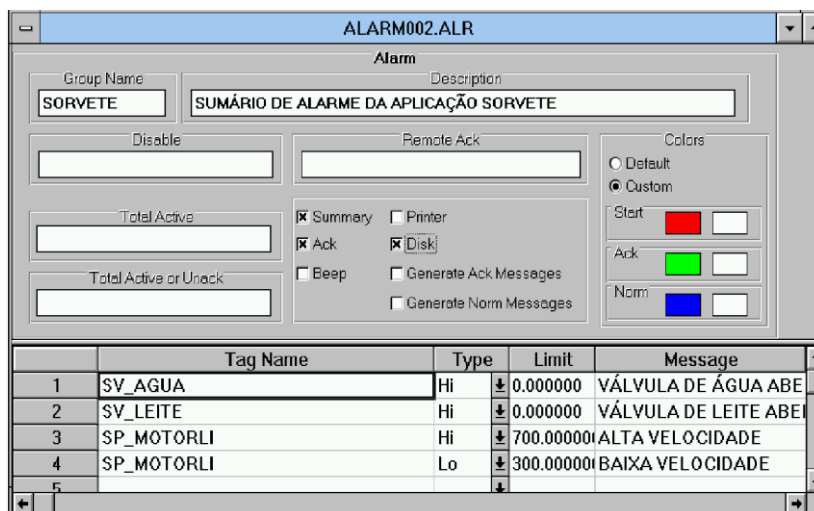


Figura 5. Tela para configuração do alarme em um software SCADA. Fonte: COELHO, 2010.

Os Sistemas SCADA tem uma larga cadeia de aplicação: podem ser utilizados tanto em um ambiente industrial quanto em um ambiente científico, haja visto que neste há uma série de projetos de pesquisas com foco em conjuntos nebulosos, redes neurais e inteligência artificial, todas voltadas para a automação de processos industriais e/ou prediais (URZÊDA, 2006).

A utilização de um software SCADA é muito comum nas indústrias que tem seus processos contínuos, como por exemplo, as indústrias petroquímicas, indústrias de alimentos e bebidas e indústrias de açúcar e álcool, isso por consequência da própria natureza destes processos que exigem que o monitoramento e o controle sejam executados em tempo real (JUNQUEIRA, 2003). Seu uso também abrange outros setores, tais como o setor automobilístico, elétrico, têxtil, além de outros que tenham seus processos automatizado de alguma maneira. Ribeiro (2020) aborda em seu trabalho, sobre o uso desse tipo de sistema no setor elétrico, onde esse é um tipo sistema projetado para o gerenciamento de Micro redes. Ele relata que este é um sistema complexo de controle multiobjetivo, que lida com questões de diferentes áreas técnicas, escalas de tempo e níveis físicos. As principais áreas de interesse incluem compartilhamento de potência da carga, regulação de tensão, frequência, qualidade da potência e participação no mercado. Em seu trabalho, Urzêda (2006) traz uma proposta de uso da aplicação para o monitoramento e controle da temperatura de salas, no intuito de economizar energia elétrica. Muller (2017) descreve a eficiência de um sistema SCADA aplicado em uma usina de energia fotovoltaica. Segundo ele relata, o sistema conferiu flexibilidade e eficiência na supervisão de usinas fotovoltaicas, permitindo ser utilizada tanto em usinas residenciais ou industriais, podendo ser incluída em projetos atuais ou futuros da empresa sem influenciar significativamente no seu custo.

4.2. Modelos de Sistemas Supervisórios com base na Indústria 4.0

Os supervisórios da atualidade caracterizam-se pela sua inteligência, eles detêm da capacidade de aquisição conclusiva de dados do processo e permitem ao operador o controle e a correção de possíveis ineficiências deste de forma automática (PAIOLA, 2012). Um novo modelo industrial é idealizado com a introdução de uma rede de serviços totalmente informatizada no ambiente produtivo, onde se tem uma automação viabilizada não só no interior da fábrica, que realiza seus processos operacionais de forma descentralizada, mas também na sua comunicação com outros participantes que fazem parte da cadeia de valor. A próxima geração de fábricas é concebida como ambientes inteligentes, onde máquinas, sensores, e atuadores são interconectados para permitir colaboração, monitoramento e controle (IGLESIAS-URKIA et al, 2017 *apud* GONZÁLEZ; CALDERÓN, 2018).

A integração torna-se um fator crucial para os novos modelos de fábricas do setor industrial, pois a integração entre diferentes equipamentos em uma solução de automação é essencial para otimizar e trazer melhorias nos processos produtivos (SATURNO et al, 2017). Na fabricação-ambiente de crescimento, rede vertical, ambiente de ponta a ponta, engenharia e integração horizontal em toda a rede de valor de produtos e sistemas cada vez mais inteligentes está se definido para inaugurar a quarta fase da industrialização – “Indústria 4.0” (KAGERMANN et al., 2013).

O enquadramento das indústrias no conceito de Indústria 4.0 se concretiza com a conexão de máquinas e sistemas que tenham a capacidade de autonomia para programar manutenções ou prever falhas operacionais, além de se adaptar a mudanças em termos de previsibilidade nos seus processos de produção (DE ARAÚJO; CORREIA; SÁTYRO, 2020).

Novas habilidades e funcionalidades são exigidas aos sistemas SCADA, principalmente aos softwares SCADA que são a parte mais importante destes. Segundo Vicente (2021) essas habilidades promovem a interligação de todos os setores de uma organização, o que facilita o processo de troca de dados, viabilizada pela ligação do software SCADA com a internet. Diante disso, os sistemas SCADA integram-se com os demais sistemas existentes na organização e, também, nas cadeias de informação verticais e horizontais. Uma vez estando interligados com a internet, os sistemas SCADA integram-se a um Sistema Ciber-Físico (CPS - *Cyber-Physical System*) e incorpora-se ao conceito de fábrica inteligente, tendo como suporte a IIoT, e isso fará com que toda a organização seja conectada em tempo real, do chão de fábrica aos colaboradores.

Sistemas Ciber-Físicos (CPS) fazem parte de um projeto, elencados por Kagermann (2013), o qual propôs para o escopo de um Sistema Ciber-físico algumas diretrizes: eles se relacionam com o ambiente de produção e dependem de uma plataforma, onde os objetos inteligentes são interligados ao meio industrial via internet ou intranet. Ainda, segundo o autor, eles compreendem máquinas inteligentes, os sistemas de produção responsáveis pela organização do processo produtivo, os sistemas (software) de armazenamento e facilidades que foram desenvolvidas digitalmente. Os CPS apresentam integração de ponta a ponta baseada em TIC para esses componentes que os compõem. Essa integração é enfatizada nos setores de produção, marketing, logística de saída e serviço. O uso desses tipos de sistemas atribui ao processo de produção maior flexibilidade e uma melhor e mais diferenciada forma de gestão nos processos de controle.

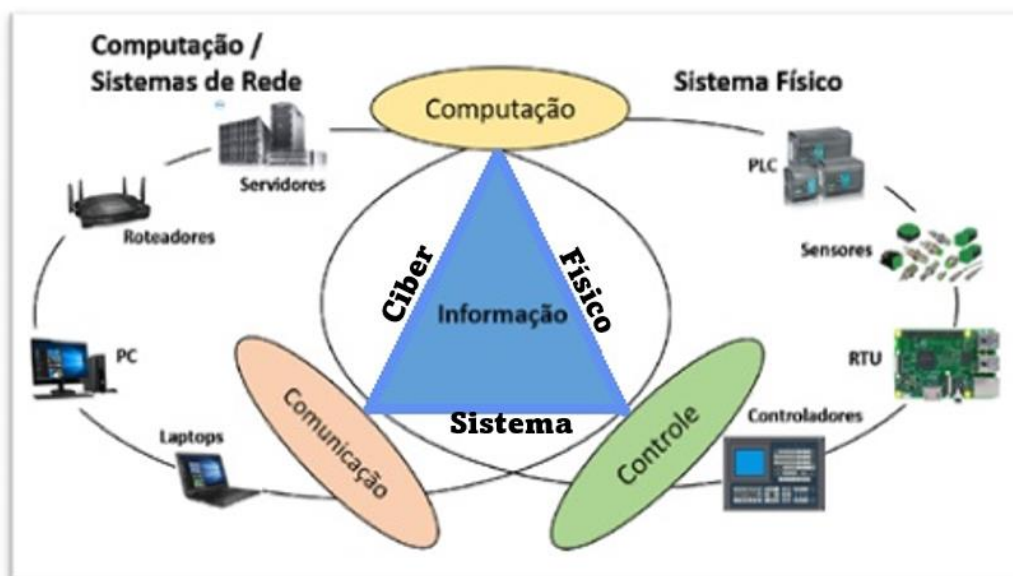


Figura 6. Integração dos dispositivos físicos do processo de produção em um CPS. Fonte: adaptado BIGHETI (2020)

Atualmente, o mercado dispõe de organizações dedicadas no desenvolvimento de plataformas de software para projetar software SCADA baseados no conceito de Indústria 4.0. Essas plataformas utilizam-se do conceito de IIoT e a evolução dos CPS, e possuem recursos de rápido desenvolvimento, permitindo aos usuários projetar aplicativos de maneira facilitada (VICENTE, 2021).

As plataformas de criação de software SCADA disponíveis no mercado contam com algumas das tecnologias contextualizadas com os padrões da Indústria 4.0, tais como:

- Conectividade com base na tecnologia da IIoT;
- Maior capacidade e segurança no armazenamento dos dados, com base no Big Data e Computação em Nuvem;
- Plataforma de controle em tempo real;
- Base colaborativa que interliga as pessoas, processos e ativos;
- Favorece uma comunicação fluida entre dispositivos de diversas marcas e diversos sistemas organizacionais;
- Maior segurança na comunicação (criptografada);
- Alarmes inteligentes, entre outras.

Abaixo, na Tabela 1, estão dispostas algumas plataformas de software para desenvolvimento de um software SCADA, desenvolvidas por algumas organizações. Elas apresentam funcionalidades e recursos diferentes, porém, um software SCADA pode ser implementado através de diversas plataformas, disponibilizadas no mercado atualmente.

Tabela 1. Plataformas desenvolvedoras de software Scada.

Plataformas de Software	Fornecedor
MicroSCADA Pro	ABB®
AggreGate SCADA / HMI	Tibbo SYSTEMS®
DAQFACTORY HMI / SCADA SOFTWARE	Azeotech®
CIMPLICITY	GE Digital®
iFIX	GE Digital®
CREW	Esa Automation®
GENESIS64	ICONICS®
Zenon	COPADATA®
zenon Operator	COPADATA®
Ignition	Indutive Automation®
iX HMI Software	Beijer electronics®
GT SoftGOT	Mitsubishi Electric®
FACTORYTALK VIEW MACHINE EDITION	Rockwell Automation
SIMATIC WinCC V7 SCADA	Siemens®
Vtscada	Trihedral®

Fonte: informações adaptadas de VICENTE,2021.

A nova geração de Sistemas de Supervisão, como mencionado anteriormente, contam com todas as tendências tecnológicas da Indústria 4.0 para se tornarem sistemas de produção inteligentes e para isso, segundo De Araújo, Correia e Sátyro (2020) citam, eles podem ser correlacionados à cinco atribuições:

- Capacidade de operação em tempo real;
- Virtualização;
- Descentralização;
- Orientação a Serviços;
- Modularidade.

Siemon (2018) relata que a condição inicial da plataforma para a Indústria 4.0 é que objetos diferentes e com diferentes habilidades de comunicação sejam implementados como componentes do sistema e que um projeto de manufatura avançada compõe-se desses componentes e a comunicação entre eles.

Esses objetos, acima citados, são os elementos chaves da nova realidade industrial, são os objetos inteligentes que dão ao sistema de produção uma nova performance, criam novas soluções computacionais capazes de melhor supervisionar e controlar um processo produtivo. E essas novas soluções, chamadas de soluções "inteligentes", segundo Paiola (2012), trazem ferramentas computacionais específicas para o levantamento do modelo de processo, que permite um amplo conhecimento deste e possibilita sua otimização.

O novo cenário industrial se dá pela convergência das Tecnologias da Automação (TA) e Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC). E com essas evoluções tecnológicas será possível a conexão de todos os elementos da cadeia produtiva em rede, e com isso surge um desafio a ser superado, o de agregar essas tecnologias e permitir a integração dos equipamentos da automação com os serviços disponibilizados pela TI armazenados em nuvem.

Portanto, a tradicional Pirâmide da Automação já não suporta as requisições solicitadas pela Indústria 4.0 (interoperabilidade e integração vertical e horizontal de todos os equipamentos e sistemas da organização) e diante disso faz-se necessário a entrada de uma nova arquitetura industrial de automação. A utilização da Arquitetura Orientada a Serviços (SOA) é apresentada como uma solução, conforme relata Fernandes (2020). Essa arquitetura foi apresentada pela primeira vez nos anos de 1996, em um artigo editado pelos autores/pesquisadores Roy Schulte e Yefim Natis do Gartner Group.

Bigheti (2020), afirma que a SOA é evolução da computação distribuída e ela viabiliza a integração dessas tecnologias. Ainda, segundo ele, esta arquitetura fundamenta-se na teoria de que a disponibilização das funcionalidades das aplicações introduzidas pela Indústria 4.0 devem ser apresentadas em forma de serviços. Ela baseia-se na computação distribuída e utiliza-se do paradigma requisição/resposta para viabilizar a comunicação entre os sistemas (cliente/servidor) responsáveis por implementar os serviços.

Tecnologicamente a SOA é uma filosofia que caracteriza-se pela sua modularidade, capacidade de separar tarefas, possibilitar reuso de serviços e composição. Ela reorganiza os departamentos de TI do setor industrial e melhora o relacionamento das áreas que prestam suporte tecnológico para a organização e os departamentos responsáveis pelo negócio propriamente dito. Coloca a prestação de serviços como centro de todo o negócio e destaca a gestão de serviços e o cliente (MELO, 2012). Utiliza-se de ferramentas que estão relacionadas ao uso de *web services* de larga escala. Dustdar e Papazoglou (2008) *apud* Fernandes (2020) relatam que os serviços são tidos como módulos de negócio, os quais possuem interfaces de conexão que são invocadas via mensagens. Interfaces estas que fornecem recursos, por meio de redes de comunicação, sem que os serviços a serem implementados sejam descobertos.

Os serviços interagem através de redes de comunicação, conforme relata Fernandes (2020), executando desde uma simples tarefa de solicitação de respostas via requisição, com uso do método *request/response*, até execução de tarefas mais complexas, como por exemplo, a comunicação entre provedores e consumidores de serviços virtuais.

Abaixo, na figura 7, está disponível como está desenhada a nova arquitetura organizacional dos sistemas de produção. Nela é possível observar como ocorre a migração da antiga arquitetura da pirâmide da automação para a arquitetura, que na verdade é vista como mais um pilar da Indústria 4.0:

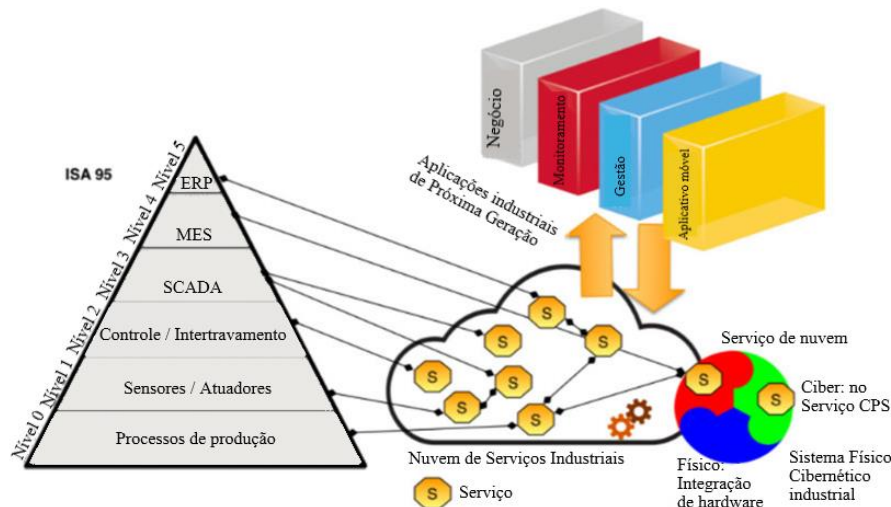


Figura 7. Arquitetura da automação tradicional migrada para a nova arquitetura (SOA). Fonte: BIGHETI et al. (2019).

Uma SOA funciona basicamente da seguinte forma: na interação de agentes que possuem os papéis de provedor e consumidor de serviços, onde os provedores têm o papel de disponibilizar os serviços que serão utilizados pelos consumidores (BIGHETI, 2020). A SOA é composta, basicamente, por três elementos:

- **Provedor de serviços:** proporciona a infraestrutura de acesso, através da rede, e envia respostas às requisições internas (feitas via Intranet) e externas (feitas via Internet).
- **Consumidor de serviços:** é o cliente que recebe as respostas enviadas pelo provedor de serviços. Consumidor de serviços podem ser uma pessoa, organização, máquina ou um componente de software.
- **Registro de serviços:** responsável pelo gerenciamento dos repositórios de informações sobre os serviços e das organizações que os fornecem. Determina o comportamento que a organização deve ter ao divulgar o serviço e como o cliente deverá localizar o serviço desejado.

Dentro do conceito de SOA há uma abordagem chamada de composição de serviços, onde os serviços são implementados conforme requisitados por outros serviços existentes. Sendo essa composição de serviços apontada como um dos principais aspectos dessa arquitetura. As técnicas mais utilizadas para composição de serviços são, segundo Dustdar e Papazoglou (2008) *apud* Fernandes (2020):

- **Orquestração:** essa composição de serviços serve para criação de um novo serviço ou resolver tarefas de um processo. Nela sempre existirá um serviço que age com um processo central, uma espécie de mestre, que será responsável por coordenar a chamada de outros serviços para compor a função mais complexa. Assim, uma orquestração de serviços é a coordenação de diversos serviços feita através de um mediador (mestre) de forma centralizada. Esse mediador será o único detentor do conhecimento da composição de serviço de maior hierarquia;
- **Coreografia:** aqui a composição de serviços de maior hierarquia se dar pela soma dos serviços individuais, onde cada serviço sabe quando deverá atuar e com quais serviços interagir, quais operações executar, quais mensagens devem trocar, tudo de forma descentralizada. Cada serviço tem o conhecimento que fazem parte de uma composição de serviços e interagem com outros serviços de maneira ordenada.

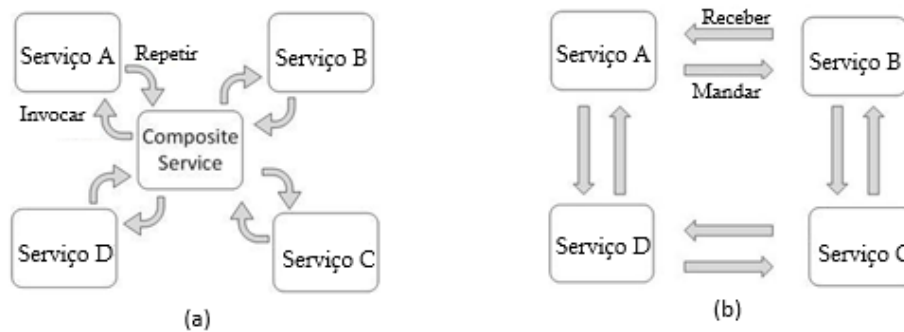


Figura 8. Composições de serviços: a) orquestração e b) coreografia. Fonte: adaptado de RISSETO, 2017 *apud* BIGHETI, 2020

Surgida em 2014, a Arquitetura Orientada em Microserviços (MOA), é uma arquitetura considerada como a evolução da SOA, conforme descreve Fernandes (2020), ou uma variante desta, segundo descreve Bigheti (2020). Essa arquitetura descreve uma interpretação melhor e mais concreta da SOA. Uma MOA é um modelo de arquitetura que decompõe as aplicações em serviços acoplados e oferece modularidade, tornando-as mais fáceis de serem desenvolvidas, testadas, implantadas, alteradas e mantidas, ou seja, uma aplicação é desenvolvida através da composição dos microsserviços desenvolvidos (DE MATTOS FERNANDES et al., 2021). Nesse tipo de arquitetura os microsserviços são pequenos serviços que se juntam para desempenhar determinada função. Eles rodam em seus próprios processos se comunicando através de leves mecanismo síncrono (request/response) e assíncronos (request/callback), como por exemplo, por meio de REST. Bigheti et al. (2019) relatam que em uma arquitetura MOA a saída de um serviço é usada como uma entrada para outro em uma coreografia de vários serviços independentes. Cada microsserviço é definido como sendo uma entidade separada e autônoma. Este pode ser implementado em diferentes máquinas e/ou trabalhar de forma coletiva (FERNANDES, 2020).

Nesse cenário de evoluções, os softwares SCADA desempenham um importante papel nos processos produtivos. Eles integram-se à nova arquitetura como em forma de serviços e disponibilizam aos seus usuários dados em tempo real do chão de fábrica, além de permitir também o acesso a esses dados, disponibilizados em telas móveis, de qualquer lugar do mundo. Os dados são transformados em informações e favorecem a tomada de decisões, como garantia de qualidade e otimização dos processos produtivos, além de favorecer a gestão de energia.

Um software SCADA atual conta com uma arquitetura baseada na IIoT, o que viabiliza a computação em nuvem. Diante disso, os equipamentos fisicamente afastados podem se comunicar entre si (comunicação M2M). Ele possui a capacidade para trabalhar com grandes quantidades de dados BD e possibilita a análise destes por um software especializado em BDA.

Atualmente, muitas empresas, fabricantes de tecnologias, desenvolvem suas soluções, inclusive seus sistemas supervisórios, com a possibilidade de implementar suas tecnologias em arquitetura SOA. Paiola (2012) explica que uma arquitetura SOA viabiliza a interação de um Sistema SCADA com um sistema de manutenção e isso permite que os usuários obtenham uma representação única e completa de todos os elementos do processo, além de seus dispositivos e alarmes do sistema.

Os sistemas SCADA de hoje em dia oferecem o uso de servidores redundantes, arquitetura cliente/servidor, além do uso de um acesso remoto via web (intranet/ internet) (PAIOLA, 2012). Várias empresas, com aplicações distribuídas em locais distantes utilizam-se deste recurso em larga escala e isso tem facilitado a manutenção das suas aplicações. O uso do acesso remoto pode ser feito através de tecnologias móveis, tais como: aparelhos celulares, palmtops e tablet PCs, etc, e isso, segundo Paiola (2012), possibilita aos responsáveis pelo gerenciamento do processo visualizarem e operarem o sistema enquanto andam pelo chão de fábrica, nas salas de operação, em suas mesas no escritório ou até mesmo no conforto de sua casa.



Figura 9. Acesso remoto de um sistema SCADA plotado em telas de dispositivos móveis. Fonte: PAIOLA, 2012.

5. Resultados e Discussões

Apesar de ter sido inserido no contexto global a mais de dez anos, o termo Indústria 4.0 ainda é algo relativamente novo, levando em consideração que os caminhos estão ainda sendo preparados para sua implementação, e que principalmente ainda existem países que estão muito aquém do desejado. A Quarta Revolução Industrial é sem dúvidas um advento de extrema importância que trará impactos sobre todas as nações, assim como ocorreu com as revoluções anteriores. Portanto, essa nova revolução possui um diferencial que a classifica como um paradigma, o fato desta se permitir ser estudada antes do seu acontecimento, o que sem dúvidas traz grandes expectativas e otimismo, gera dúvidas, medos e insegurança, além de proporcionar vantagens, segundo alguns autores que dissertaram sobre o tema, principalmente para os países desenvolvidos, por diversos motivos, entre eles, o fato de estes já possuírem parques industriais estruturados com tecnologias provenientes principalmente da Terceira Revolução Industrial, e que poderão migrar para esse novo paradigma sem muitas dificuldades, desenvolvendo novas tecnologias e adaptando as existentes, preparando-os para uma disputa insaciável pela competitividade, com o objetivo de alavancar a economia do país e melhorar o padrão de vida da sociedade. No entanto, apesar de os países desenvolvidos possuírem algumas “vantagens”, são as economias emergentes da Ásia que estão mais convictas destas transformações fazendo uso com mais intensidade destas tecnologias.

A pandemia da Covid-19 foi e está sendo ainda uma grande catástrofe para o mundo, no entanto, acelerou alguns processos de desenvolvimento no cotidiano global: uniu nações, governos e iniciativas privadas através da pesquisa, todos com o mesmo objetivo. Trouxe uma grande mudança e até transformações nos métodos de trabalhos, modelos de negócios, estudos, comportamento e formas de comunicação.

A Quarta Revolução não trará somente impactos positivos, entre os pontos citados como negativo, está o fato de que a não adaptação a esse novo modelo industrial poderá representar a falência de muitas empresas, o que poderá ser devastador para a economia do país, contribuindo assim para o aumento da desigualdade social. E como toda mudança tende a gerar especulações e incertezas, há ainda muitos questionamentos e opiniões divergentes sobre os impactos que essa nova era poderá trazer no contexto geral, sobretudo, no mercado de trabalho.

Os avanços tecnológicos principalmente no âmbito das TICs transformaram a maneira de relacionamento e comunicação entre as pessoas e diversos outros elementos físicos, dando então, encaminhamento a um novo conceito que estimula a chegada de um futuro que antes parecia muito distante, agora já se torna quase tão presente e concretizável pela introdução de diferentes tecnologias de forma integrada, constituindo-se o conceito de Indústria 4.0, a qual tem como princípios a Interoperabilidade (utiliza-se da IoT e IoS para interconectar Sistema Ciber – Físico (CPS) de diferentes fabricantes entre si e com as pessoas); Virtualização (sensores e atuadores interligados a plantas virtuais permite aos CPS simular e monitorar processos físicos através de cópias virtuais); Descentralização (CPS e computadores são integrados para auxiliar na tomada de decisão de forma autônoma e de locais distintos utilizando as informações que recebe em tempo real); Orientação a serviços (o conceito de Internet de Serviço integrado ao uso de arquiteturas de software orientadas a serviços permite disponibilizar serviços nos sistemas CPS, industrial e humano, de modo que haja essa conexão entre homem e máquina para a realização de serviço); Capacidade em tempo real (a integração da indústria desde a cadeia de valor com todos os sistema dentro da fábrica permite ter controle sobre os dados em tempo real, facilitando assim a tomada de decisão); Modularidade (na Indústria 4.0 um dos focos é a customização de produtos para atender as necessidades de um cliente, e a modularização onde o mesmo permite maior flexibilidade na produção, sendo possível trocar um módulo, ou desacoplar e acoplar com facilidade).

Nota-se, diante do que foi abordado, a grande importância dos Sistemas de Supervisão para o setor industrial. Conforme o setor de automação das grandes indústrias passavam pelos processos evolutivos, de cunhos tecnológicos,

ao longo dos anos, estes também se permitiam acompanhar tais processos de mudanças. A cada inovação tecnológica que era aplicada ao escopo da automação, os Sistemas Supervisórios sentiam os reflexos desta e ganhavam novas características e funcionalidades.

Nunca antes os modos de produção e automação sofreram mudanças tão abruptas e instantâneas como as que ocorrem no século que se segue. Outrora, nos processos de produção, tarefas como manipulação de variáveis dos processos, coleta das informações e dados, além da análise e envio destes à administração, eram executadas manualmente. Esses processos eram monitorados e supervisionados através de grandes painéis sinópticos e em uma sala repleta de mesas, o que implicava em perdas de produtividade e lucros, além de desperdícios de tempo. Hoje em dia, as derivações do termo inteligência são integradas a todos os sistemas que norteiam os processos produtivos, e com os sistemas de supervisão não foi diferente, pois os avanços tecnológicos no campo das tecnologias da automação e tecnologias da informação e comunicação, descaracterizou aquele antigo cenário e viabilizou mudanças no escopo desses sistemas, que refletiu em melhorias para os processos, otimização do tempo e dos recursos, e viabilizou a lucratividade, redução de custos e aumento na capacidade de produção e disponibilização de produtos altamente personalizáveis.

Com a migração da antiga pirâmide da automação para uma nova arquitetura, a chamada Arquitetura Orientada a Serviço (SOA) ou, em sua forma mais evoluída Arquitetura Orientada a Micros serviços (MOA), idealizada pelos conceitos que a Indústria 4.0 impõe aos novos modos de manufatura, tornou-se possível organizar como as novas tecnologias se interrelacionam entre si, unificando o meio físico ao virtual. O software SCADA, uma importante e fundamental ferramenta dos Sistemas de Supervisão, insere-se no contexto dessa nova Arquitetura, disponibilizando seus serviços, e continua a desempenhar a sua função, só que agora com uma nova e melhorada performance. Com isso os processos produtivos tornam-se mais dinâmicos, pois as novas características dos softwares SCADA atuais, possibilitam análises mais complexas e melhoram o gerenciamento do processo de produção, além de possibilitar a obtenção, isso de forma automática, das prováveis causas que proporcionam os entraves do processo.

Os supervisórios da atualidade possuem inúmeras características tecnológicas que facilitam a sua integração com os demais sistemas da cadeia de valor, como por exemplo, cita-se um sistema ERP. Ao ser implementado na arquitetura SOA/MOA, possibilita aos usuários a disponibilização do seu sistema representado através de serviços. Os serviços podem ser navegados e utilizados em diferentes interfaces de forma legível e isso sem depender da plataforma que foi desenvolvido.

Essas novas características proporcionam aos sistemas de supervisão viabilizar inúmeros benefícios para os processos produtivos, que os permitem operar segundo os conceitos da Indústria 4.0, tais como:

1. Interoperabilidade;
2. Baixo índice de acoplamento;
3. Possibilidade de reuso e flexibilidade dos serviços disponibilizados;
4. Redução de custos;
5. Melhorias nos processos de manutenção;
6. Flexibilidade;
7. Mobilidade de acesso, sem implicar em risco à segurança dos dados operacionais.

6. Conclusão

Ao longo de toda a pesquisa e, diante das informações coletadas, a respeito desse novo paradigma (Indústria 4.0) e todas as tecnologias que ele introduz no mercado, pode-se concluir que essa nova revolução tem um grande potencial para causar transformações a níveis globais, proporcionando melhorias significativas na sociedade no contexto em geral, não apenas limitando-se a indústria. O setor industrial é o mais impactado com esse processo de transformação global, aplicado pelas tecnologias emergentes. E tudo por motivos bem óbvios: melhorias contínuas no âmbito da produção; viabilizar a redução de custos nessa produção; otimizar os processos produtivos; além de alavancar a competitividade das indústrias. Os sistemas responsáveis pelo controle, supervisão e monitoramento dos processos produtivos, os sistemas SCADAS e suas ferramentas computacionais, são impactados positivamente com a introdução dessas novas tecnologias em seus escopos, pois, através dessas melhorias é que se tem a garantia de uma operação mais eficaz e eficiente, implicando em um melhor planejamento da manutenção, menores desperdícios de tempos operacionais, maior aproveitamento dos recursos, economia de energia, entre outras que garanta ao processo de produção a sua otimização.

Denota-se que o comportamento adotado pelos países que estão se destacando nessa nova revolução é o caminho a se seguir, devendo assim servir como fonte de inspiração para as nações que ainda estão inertes frente a esta vertente. Essas nações, por sua vez, deverão investir mais na educação da sua população, proporcionando meios para o conhecimento prático das tecnologias já existentes, através da criação de centros e institutos e, ainda, possui atribuições

mais abrangentes, como por exemplo, o fomento à pesquisa científica que, sem dúvidas, é uma área de suma importância para o desenvolvimento do país, pois é de onde surgirá novos conhecimentos e ideias para a geração de novas tecnologias e melhoramentos das aplicações já existentes, deverão também, formar uma parceria solidificada entre as iniciativas público e privada, pois são essas parcerias que possibilitarão o acontecimento de todos os objetivos, anteriormente citados.

Diante deste contexto faz-se necessário destacar a posição do Brasil, que já vem desenvolvendo algumas iniciativas, mas de uma forma muito tímida ainda para o seu potencial. De início, falta no país a elaboração de um plano concreto por parte do governo para a transformação da indústria e, também, juntar-se às nações que já estão no páreo da competitividade. Apesar do país ainda não ter mergulhado de fato nesta nova oportunidade de crescimento, a realidade do Brasil é vista por muitos críticos como uma oportunidade de crescimento que poderá abranger áreas sociais, não apenas limitando-se a economia, o que por sua vez acrescentará qualidade de vida para a população brasileira.

Referências

1. SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial**. Klaus Schwab; tradução Daniel Moreira Miranda. São Paulo: Edipro, 2016.
2. FRANCISCO, Miguel Brito Ribeiro Martins. **Projeto do sistema electropneumático para o ensino de conceitos da indústria 4.0**. Tese de Doutorado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2018.
3. PARLAMENTO EUROPEU (2015). **Indústria 4.0 Digitalização para produtividade e crescimento**. União Europeia, 2015.
4. BOARETTO, Neury; KOVALESKI, João Luiz; SCANDELARI, Luciano. **Coleta de dados e monitoramento de chão de fábrica na manufatura discreta-integração com as ferramentas de gestão**. XI SIMPEP (In Portuguese), 2004.
5. GAIDZINSKI, Vladimir Hartenias et al. **A tecnologia da informação no chão de fábrica: as novas ferramentas e a gestão integrada da informação**. 2003.
6. KAGERMANN, H. et al. **Recomendações para a implementação da iniciativa estratégica Industrie 4.0**: Relatório final do Grupo de Trabalho industrie 4.0. 2013.
7. GONZALEZ, Antonio GC et al. **Arquitetura de navegação baseada em controle supervisorio**: uma nova estrutura para robôs autônomos em ambientes da indústria 4.0. *Transações IEEE em Informática Industrial*, v. 14, n. 4, pág. 1732-1743, 2017.
8. SACOMANO, José Benedito et al. **Indústria 4.0: conceito e fundamentos**. Organizado por José Benedito Sacomano... [et al]; Alessandro Wendel Borges de Lima... [et al. São Paulo: Blucher, 2018.
9. PISCHING, M. et al. **Arquitetura para desenvolvimento de sistemas ciber-físicos aplicados na indústria 4.0**. XIII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente Inteligente, p. 326-331, 2017.
10. HOFMANN, E.; RÜSCH, M. **Indústria 4.0 e o status atual, bem como as perspectivas futuras em logística**. *Computadores em Indústria*, v. 89, p. 23-34, 2017.
11. SCHWAB, Klaus; DAVIS, Nicholas. **Aplicando a quarta revolução industrial**. Edipro: São Paulo, 2019.
12. COELHO, Pedro Miguel Nogueira. **Rumo à indústria 4.0**. Tese de Doutorado (00500). Universidade de Coimbra, 2016.
13. BCG The Boston Consulting Group. **Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries**. Organized by: Michael Rüßmann, Markus Lorenz, Philipp Gerbert, Manuela Waldner, Jan Justus, Pascal Engel, and Michael Harnisch. BCG, abril de 2015.
14. MADAKAM, Somayya et al. **Internet das Coisas (IoT): uma revisão de literatura**. *Revista de Informática e Comunicações*, v. 3, n. 05, pág. 164, 2015.
15. GONÇALVES, et al. **Indústria 4.0 – Integração de Sistema**. *Revista Pesquisa e Ação*, v. 5, n. 1, p. 75-92, 2019.
16. MACHADO. R, N, Felipe. **Big Data: O futuro dos dados e aplicações**. Editora Erica/ Saraiva 1ª edição. São Paulo 2018.
17. BORLIDO, David José Araújo. **Indústria 4.0: Aplicação a Sistemas de Manutenção**. 2017.
18. BRAHIM, Pedro Luiz Garbim. **Integração de dados heterogêneos em Big Data: estudo das técnicas**. Londrinas, 2021.
19. VIEIRA, Vanessa; PEDROSA, Isabel; SOARES, Bruno Horta. **Big Data & Analytics-minimum control requirements: a proposal on literature review**. *Análise*, p. 13, 2011.
20. PEDDIREDDY, A. S. et al. **De 5Vs a 6Cs: Operacionalizando a Gestão de Dados Epidêmicos com Vigilância COVID-19**. *IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, 2020.
21. BARBOZA, Rafael Menezes. **Monitoramento voltado à cibersegurança em sistemas industriais**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2020.

22. DA SILVA, Elias Ribeiro et al. **Operando a Manufatura Digital na Indústria 4.0**: o papel das tecnologias avançadas de manufatura. *Procedia CIRP*, v. 93, p. 174-179, 2020.
23. LIMA, A. G. de; PINTO, G. S. **INDÚSTRIA 4.0**: um novo paradigma para a indústria. *Revista Interface Tecnológica*, [S. l.], v. 16, n. 2, p. 299-311, 2019. DOI: 10.31510/infa.v16i2.642. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/642>. Acesso: 14 jan. 2022.
24. FALCÃO, Ana Carolina Rodrigues de Arruda. **Sistematização dos Pilares da Indústria 4.0**: uma análise utilizando revisão bibliográfica sistemática, 2019.
25. RAMOS, Kevin Jesus. **Concepção de Robô Manipulador Fabricado Por Manufatura Aditiva Para Retirada de Peças de Impressora 3D**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019.
26. MIRANDA, Bruna de Souza; DE JESUS, Guilherme Pinheiro; DA SILVA, Maria Izabel Bernardo. **Aplicações da manufatura aditiva na medicina**. *Indústria 4.0: Desafios e oportunidades*, p. 12, 2018.
27. DABAGUE, Leonardo Augusto Moraes. **O processo de inovação no segmento de impressoras 3D**. Universidade Federal do Paraná: Curitiba – PR, 2014.
28. ARAÚJO, Vinícius Cavalcante. **Manufatura aditiva e suas aplicações na indústria**: uma revisão de literatura, 2021.
29. MESQUITA, Viviane Balieiro; MOREIRA, Farney Coutinho. **Indústria 4.0: Aplicação de Realidade Aumentada**. Simpósio em Excelência em Gestão e Tecnologia (XVSEGeT), 2018.
30. WESTERFIELD, Giles; MITROVIC, Antonija; BILLINGHURST, Mark. **Treinamento inteligente de realidade aumentada para montagem de placa-mãe**. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, v. 25, n. 1, p. 157-172, 2015.
31. WANG, S.; WAN, J.; LI, D.; ZANG, C. **Implementação smart factory of Industrie 4.0**: Uma Perspectiva. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2016.
32. EUSÉBIO, Rafael da Torre. **A simulação na Indústria 4.0**: principais conceitos e abordagens. Tese de Doutorado. Universidade de Aveiro, 2019.
33. CHIMIELEWSKI, Adão Maciel Monteiro; DA SILVA, Antônio José Dias; LEITE, José Roberto Emiliano. **Indústria 4.0: Revolução e Impacto no mundo moderno**. *Projectus*, v. 5, n. 1, p. 1-12, 2020.
34. LIN, Patrick; ABNEY, Keith; BEKEY, Jorge. Ética do robô: mapeando os problemas para um mundo mecanizado. *Inteligência Artificial*, v. 175, n. 5-6, pág. 942-949, 2011.
35. LIMA, A. G. de; PINTO, G. S. **INDÚSTRIA 4.0: um novo paradigma para a indústria**. *Revista Interface Tecnológica*, [S. l.], v. 16, n. 2, p. 299-311, 2019. DOI: 10.31510/infa.v16i2.642. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/642>. Acesso: 14 jan. 2022.
36. ARBIX, Glauco et al. **O Brasil e a nova onda de manufatura avançada**: o que aprender com Alemanha, China e Estados Unidos. *Novos estudos CEBRAP*, v. 36, p. 29-49, 2017.
37. HERMANN, Mario, PENTEK, Tobias, OTTO, Boris. **Princípios de Design para Indústria 4.0 Cenários**: Uma Revisão de Literatura. 2015. 10.13140/RG.2.2.29269.22248. Acesso em 08/01/2022.
38. IEDI, Carta. **Estratégias Nacional para Indústria 4.0**. Edição 860. 2018. Disponível em: https://iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_860.html. Acesso: 20/01/2022.
39. LI, Jingcheng; POGODIN, Sergey. **“Made in China 2025”**: experiência chinesa na Indústria 4.0. In: Série de Conferências IOP: Ciência e Engenharia de Materiais. Publicação IOP, 2019.
40. DE SOUSA JÚNIOR, João Henriques; ESCOBAR BÜRGER, Rafaela; FERRAZ CÁRIO, Silvio Antônio. **A indústria 4.0 sob as perspectivas alemã e japonesa e suas lições para o Brasil**. *Contribuciones a la Economía*, n. junio, 2019.
41. YAMADA, Viviane Yukari; MARTINS, Luís Marcelo. **Indústria 4.0: um comparativo da indústria brasileira perante o mundo**. *Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa*, v. 34, n. esp., p. 95-109, 2018.
42. LIMA, Faíque Ribeiro; GOMES, Rogério. **Conceitos e tecnologias da Indústria 4.0: uma análise bibliométrica**. *Revista Brasileira de Inovação*, v. 19, 2021.
43. FIRJAN, Sistema. **Panorama da Inovação: Indústria 4.0**. 2016. Disponível em: <https://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-inovacao/industria-4-0-1.htm>. Acesso em: 20 Jan. 2022.
44. TADEU, H. F. B.; SANTOS, D. **Panorama da inovação no Brasil**. Fundação Dom Cabral: Nova Lima-MG, 2014.
45. FIRJAN SENAI, Finep. **Industria 4.0 no Brasil: oportunidades, perspectivas e desafios** / [Organizadores: Firjan SENAI, Finep]. – Rio de Janeiro: [s.n.], 2019. 63 p.: il. Color. FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – FIRJAN. **Indústria 4.0 no Brasil: oportunidades, perspectivas e desafios**. Rio de Janeiro, 2019.
46. OLIANI, Laerte Gil Nicaretta et al. **Tecnologias Digitais e Indústria 4.0: Um Novo Desafio para a Indústria Brasileira**. *Índice de Anais do V SimPEAd*, p. 283. 2020.
47. BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. **MDIC e ABDI lançam Agenda Brasileira para a Indústria 4.0 no Fórum Econômico Mundial**. Disponível em: <https://www.gov.br/produtividade-e-comercio->

- exterior/pt-br/assuntos/noticias/mdic/mdic-e-abdi-lancam-agenda-brasileira-para-a-industria-4-0-no-forum-economico-mundial. Acesso em: 20 de jan 2022.
48. JUNIOR, Ervaldo Garcia. **Introdução a Sistemas de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados: SCADA**. Alta Books, 2019.
 49. GOEKING, Weruska. **Da máquina a vapor aos softwares de automação**. Portal O setor elétrico, Santa Cecília, SP, 2010.
 50. DE ARAÚJO, Euriam Barros; DA SILVA JÚNIOR, Francisco das Chagas. **As novas fronteiras da automação**. 13 de maio de 2003.
 51. SEIXAS FILHO, Constantino. **A automação nos anos 2000: uma análise das novas fronteiras da automação**. ATAN Sistemas de Automação, 2000.
 52. MARCIANO, Erica Moreira et al. **Indústria 4.0–Integração de Sistema**. Revista Pesquisa e Ação, v. 5, n. 1, p. 75-92, 2019.
 53. COELHO, Marcelo S. **Apostila de Sistemas Supervisórios**. Disciplina de Sistemas Supervisórios Moderno - Montagem: Professor Marcelo S. Coelho. Instituto Federal de São Paulo – Campus Cubatão, 2010.
 54. JUNQUEIRA, Gustavo Santos. **Análise das possibilidades de utilização de sistemas supervisórios no planejamento e controle de produção**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2003.
 55. FERNANDEZ, Renato; CORRÊA, Valesca Alves. **Avaliação de estimativa de esforço para o desenvolvimento de aplicações com Sistemas Supervisórios**. RETEC-Revista de Tecnologias, v. 4, n. 1, 2011.
 56. MÜLLER, Max Lennon et al. **Sistema Supervisório e Aquisição de Dados de uma Usina de Geração Fotovoltaica**, Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, 2017.
 57. PINHEIRO, José Maurício Santos. **Introdução à Redes de Supervisão e Controle**. 2006. Disponível em: https://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo_redes_de_supervisao_e_controle.php. Acesso em: 11 de janeiro de 2021.
 58. PAIOLA, Carlos EG. **O papel do supervisório no atual contexto tecnológico**. Aquarius, 2012.
 59. DE ARAÚJO, Josiane Lima; CORREIA, Auro de Jesus Cardoso; SÁTYRO, Walter Cardoso. **Sistemas Supervisores de Coleta de Dados em Projetos De Indústria 4.0: Revisão Bibliométrica e Sistemática da Literatura - Barreiras, Oportunidades e Riscos**. VIII Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade. Anais: São Paulo, 23 de maio de 2020.
 60. URZÊDA, Claiton Cesar de. **Software scada como plataforma para a racionalização inteligente de energia elétrica em automação predial**. Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia: Brasília - DF, 2006.
 61. RIBEIRO, José Cleiton Cassiano. **Desenvolvimento de Sistema de Gerenciamento, Supervisão, Controle e Aquisição de Dados da Microrrede Universitária do Campus do PICI – UFC**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2020.
 62. GONZÁLEZ, Isaías; CALDERÓN, Antonio José. **Development of final projects in engineering degrees around an industry 4.0-oriented flexible manufacturing system: Preliminary outcomes and some initial considerations**. Education Sciences, v. 8, n. 4, p. 214, 2018.
 63. SATURNO, Maicon et al. **Proposta de arquitetura de soluções de automação para Indústria 4.0**. In: 24ª Conferência Internacional sobre Pesquisa de Produção, Poznan: Polônia, 2017
 64. VICENTE, Luís Filipe Catarino. **Projeto de sistema de supervisão para o novo paradigma da indústria 4.0**. Tese de Doutorado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa 2021.
 65. BIGHETI, Jeferson André. **Arquitetura de automação e controle orientada a microserviços para a indústria 4.0**. Bauru – SP, 2020.
 66. SIEMON, Franz Biondi; DA COSTA, Cesar. **Plataforma Integrada para Indústria 4.0**. III Seminário da Indústria 4.0. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, 28 de novembro de 2018.
 67. FERNANDES, Michel de Mattos. **Controle de processos como um serviço: uma abordagem para a indústria 4.0 / Michel de Mattos Fernandes**. - Bauru, 2020.
 68. MELO, Jairo Simão Santana. **Arquitetura Orientada a Serviços para Integração de Tecnologias Aplicadas a um Atlas Tridimensional Interativo da Anatomia Mamária**. [Distrito Federal] 2012 vi, 156p., 210 X 297 mm. ENE/FT/UnB, Doutor, Engenharia Elétrica, 2012.
 69. BIGHETI, J. A. et al. **Controle de Processos baseado em Serviços para a Indústria 4.0**. COBISA: Campinas, SP, 2019.
 70. DE MATTOS FERNANDES, Michel et al. **Industrial Automation as a Service: A New Application to Industry 4.0**. IEEE Latin America Transactions, v. 19, n. 12, p. 2046-2053, 2021.