

## **IMPACTOS DA INDÚSTRIA 4.0 SOBRE O FUTURO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO**

**CAIO ZAGO CUENCA** - caio.cuenca@gmail.com  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP

**CAIO MARCELO LOURENÇO** - caio.ml09@gmail.com  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP - SÃO CARLOS

**RAQUEL LAZZARINI DOS SANTOS FRANÇO SO** - raquellazzarini@hotmail.com  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP - SÃO CARLOS

**FERNANDO CÉSAR ALMADA SANTOS** - almada@sc.usp.br  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP - SÃO CARLOS

**Área:** 7 - GESTÃO ESTRATÉGICA E ORGANIZACIONAL

**Sub-Área:** 7.1 - PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO E OPERACIONAL DA ESTRUTURA ORGANIZACIONAL

**Resumo:** A DENOMINADA INDÚSTRIA 4.0 CONSOLIDA UMA SÉRIE DE MUDANÇAS NA INDÚSTRIA. O USO DE SENSORES, INTERCONECTIVIDADE E ANÁLISE DE DADOS PERMITIRÁ MAIOR COMUNICAÇÃO ENTRE OS MUNDOS REAIS E VIRTUAIS. DESSE MODO, O FUTURO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO SEERÁ MARCADO PELA INDIVIDUALIZAÇÃO DOS PRODUTOS, INTERNET DAS COISAS, SISTEMAS CIBER-FÍSICOS E INTEGRAÇÃO ENTRE PRODUTORES, DISTRIBUIDORES E CONSUMIDORES NO PROCESSO DE CRIAÇÃO DE VALOR. COM ESSE CENÁRIO EM VISTA, O OBJETIVO DESTE ARTIGO É IDENTIFICAR E DETALHAR OS IMPACTOS E FATORES DE SUCESSO DA INDÚSTRIA 4.0 PARA OS SISTEMAS DE PRODUÇÃO. A METODOLOGIA EMPREGADA CONSISTIU EM REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE CARÁTER EXPLORATÓRIO QUALITATIVO DE ARTIGOS E PUBLICAÇÕES RELACIONADAS AO TEMA. SÃO ABORDADOS OS PONTOS RELACIONADOS AO PERFIL DO TRABALHADOR, GESTÃO E PADRONIZAÇÃO DE DADOS, SEGURANÇA DIGITAL E INTEGRAÇÃO DE DADOS.

**Palavras-chaves:** INDÚSTRIA 4.0; SISTEMAS DE PRODUÇÃO; COMPONENTES; FATORES DE SUCESSO; IMPACTOS.

# IMPACTS OF INDUSTRY 4.0 ON THE FUTURE OF PRODUCTION SYSTEMS

**Abstract:** *THE SO CALLED INDUSTRY 4.0 CONSOLIDATES A SERIES OF CHANGES IN INDUSTRY. THE USE OF SENSORS, INTERCONNECTIVITY AND DATA ANALYSIS WILL ALLOW A BETTER COMMUNICATION BETWEEN THE REAL AND VIRTUAL WORLDS. THUS, THE FUTURE OF PRODUCTION SYSTEMS WILL BE MARKED BY INDIVIDUALIZATION OF PRODUCTS, INTERNET OF THINGS, CYBER PHYSICAL SYSTEMS AND INTEGRATION BETWEEN PRODUCERS, DISTRIBUTORS AND CONSUMERS IN THE VALUE CREATION PROCESS. WITH THIS SCENARIO IN VIEW, THE PURPOSE OF THIS ARTICLE IS TO IDENTIFY AND DETAIL THE IMPACTS AND SUCCESS FACTORS OF THE INDUSTRY 4.0 FOR PRODUCTION SYSTEMS. THE METHODOLOGY USED CONSISTED IN AN EXPLORATORY AND QUALITATIVE BIBLIOGRAPHY REVIEW OF ARTICLES AND PUBLICATIONS RELATED TO THE THEME. THE POINTS ADDRESSED ARE RELATED TO WORKER PROFILE, DATA MANAGEMENT AND STANDARDIZATION, DIGITAL SECURITY AND DATA INTEGRATION.*

**Keyword:** *INDUSTRY 4.0; PRODUCTION SYSTEMS; COMPONENTS; SUCCESS FACTORS; IMPACTS.*

## 1. Introdução

O termo Indústria 4.0, do inglês *Industry 4.0* (I4.0), foi originalmente apresentado pelo Governo Alemão em 2011 como uma das iniciativas para assegurar competitividade com relação ao futuro dos sistemas de produção e da indústria. Outros países de grande importância econômica global, como Estados Unidos e China, adotaram iniciativas semelhantes (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

A I4.0 é muito associada como a quarta revolução industrial. Porém, ao contrário das revoluções anteriores, que foram analisadas após sua consolidação, os estudos sobre a possível quarta revolução industrial vem ocorrendo simultaneamente com seu desenvolvimento. Por esse motivo, não há um perfil definido, mas sim tendências a serem seguidas (DRATH; HORCH, 2014).

As pesquisas sobre Indústria 4.0 podem acelerar o processo das empresas em adotar esse perfil e guiá-las por caminhos mais efetivos. Surge desse ponto a justificativa da pesquisa. A proposta do artigo guiou-se pela questão: Quais os principais impactos e fatores de sucesso associados à implantação da Indústria 4.0 nos sistemas de produção?

## 2. Métodos de pesquisa

Realizou-se uma pesquisa de caráter exploratório qualitativo, com finalidade de proporcionar maior familiaridade com o assunto e permitir o amadurecimento de ideias (GIL, 2002). Como base para a pesquisa foram utilizados os bancos de dados e portais de periódicos: *Web of Science*, *Google Scholar* e *Scopus*.

A pesquisa empregou como critérios para a seleção de textos: número de citações, tema referente a Indústria 4.0 e abordagem do ponto de vista de processos, produtos e logística.

Com base nos procedimentos de pesquisa bibliográfica propostos por Gil (2002), realizou-se uma pesquisa composta pelas seguintes etapas: escolha do tema; levantamento bibliográfico inicial; formulação do problema; elaboração do plano provisório de assunto; busca das fontes; leitura do material; organização lógica do assunto; e redação do texto.

A partir da formulação do problema de pesquisa, foi criada uma estrutura para o artigo: na seção 3, são elencados os principais elementos que compõem a Indústria 4.0, a saber: internet das coisas, sistemas ciber-físicos e fábricas inteligentes; na seção 4, são identificados fatores de sucesso na Indústria 4.0, a saber: perfil do trabalhador, gestão e padronização de dados, segurança digital e integração de dados; na seção 5, são apresentados

impactos provenientes da Indústria 4.0 nos sistemas de produção; por fim, na seção 6, são realizadas as considerações finais, indicando os resultados obtidos e possíveis futuras pesquisas.

O artigo não objetiva restringir as dimensões da Indústria 4.0 às percorridas no texto, mas sim apresentar o panorama identificado, proporcionando assim maior familiaridade com o assunto e intensificar os debates sobre o tema.

### 3. Principais características da Indústria 4.0

Os principais pontos da Indústria 4.0 se encontram em: Internet das Coisas, Sistemas Ciber-Físicos e Fábricas Inteligentes, que são abordados a seguir (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016; HOFMANN; RÜSCH, 2017).

#### 3.1 Internet das Coisas

A Internet das Coisas (IoT), do inglês *Internet of Things*, refere-se a um cenário em que os componentes físicos se tornam dispositivos inteligentes, apresentando sistemas conectados à internet.

Desse modo, possibilita que objetos e equipamentos, com uso de sensores, atuadores e identificação por radiofrequência (RFID), interajam e cooperem entre si e com o banco de dados para atingir objetivos em comum. Assim, estabelece maior registro de dados e fluxo de informação e comunicação entre as diferentes etapas do processo produtivo (GIUSTO et al., 2010; HOFMANN; RÜSCH, 2017).

#### 3.2 Sistemas Ciber-Físicos

Sistemas Ciber-Físicos (CPS), do inglês *Cyber-Physical Systems*, são modelos que possibilitam operações físicas reais automatizadas controladas por meio de computação. Representam a fusão dos ambientes físicos e virtuais, os equipamentos interagem com o ambiente de produção por meio de computadores embarcados e redes que gerenciam os processos físicos gerando respostas instantâneas (LASI et al., 2014; HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

Na visão de Lee (2008), sistemas de produção e componentes baseados em Sistemas Ciber-Físicos buscam ser capazes de configurar, regular e otimizar a si mesmos em resposta a demandas externas de forma autônoma. Redes e computadores embutidos monitoram e

controlam os processos físicos, geralmente com ciclos de *feedback*, em que processos físicos afetam o ambiente computacional e a computação afeta o ambiente físico.

No ambiente de manufatura, Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) identificam que os Sistemas Ciber-Físicos compreendem máquinas inteligentes, sistemas de armazenagem e instalações de produção capazes de, autonomamente, trocar informação, desencadear ações e controlar uns aos outros de forma independente. Isso facilita progressos fundamentais aos processos industriais envolvidos em manufatura, engenharia, uso de material e gerenciamento de cadeias de abastecimento e ciclos de vida.

### **3.3 Fábricas Inteligentes**

Internet das Coisas é a infraestrutura base para a implementação de Sistemas Ciber-Físicos. Com a integração entre os mundos físico e virtual, Sistemas Ciber-Físicos possibilitam o funcionamento de Fábricas Inteligentes, do inglês *Smart Factories* (HOFMANN; RÜSCH, 2017).

Segundo Lucke, Constantinescu e Westkämper (2008) a Fábrica Inteligente é definida como uma fábrica ciente do contexto que auxilia pessoas e máquinas nas execuções das tarefas. Isso é atingido por meio de sistemas que trabalham no plano de fundo, com informações provenientes dos ambientes físico e virtual. Por exemplo, do campo físico obtém-se o posicionamento e condições de uma ferramenta e do campo digital tem-se acesso a documentos eletrônicos, desenhos e modelos de simulação.

Nesse modelo, os produtos conhecem seu histórico de produção, seus estados atual e alvo, e ativamente orientam-se pelos processos de produção instruindo máquinas a realizar as operações de manufatura necessárias e requisitando transportadores para atingirem o próximo estágio da produção (KAGERMANN, 2015).

Como foi exposto, as mudanças dentro do ambiente fabril não estão isoladas, mas sim profundamente conectadas e dependentes na medida em que se complementam e em conjunto estabelecem um fluxo altamente integrado de material e informação por toda a instalação (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016; HOFMANN; RÜSCH, 2017; LASI et al., 2014).

## **4. Fatores de sucesso para implantação da Indústria 4.0**

### **4.1 Perfil do trabalhador**

Tarefas repetitivas e trabalhos simples que exigem pouca qualificação serão substituídos por sistemas automatizados inteligentes. O papel do funcionário direciona-se ao

de tomador de decisões, que possui visão ampla e entendimento geral do processo produtivo (EROL et al., 2016; KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). Os postos de trabalho terão foco em atividades criativas, inovadoras e comunicativas (LANZA; HAEFNER; KRAEMER, 2015), requerendo competências nos âmbitos pessoal e social e conhecimentos pertinentes ao cenário da I4.0.

Atualmente, conhecimento e tecnologia evoluem em um ritmo rápido, devido a isso, há a necessidade de comprometer-se com um aprendizado contínuo ao longo da vida. Além disso, aumentaram-se as atividades que necessitam de flexibilidade, criatividade, interdisciplinaridade e a capacidade de resolução de problemas. Nesse sentido, os empregados serão responsáveis por um processo mais amplo e necessitarão entender as relações entre processos, fluxos de informação, possíveis problemas e potenciais soluções (SPATH et al., 2013 apud EROL et al., 2016; KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

Dworschak et al. (2011 apud EROL et al., 2016) ressaltam que outro ponto importante é a *proatividade*, ou seja, tornar ideias formadas individualmente ou em grupo em ações. A digitalização da produção resultará em altos investimento financeiros e tecnológicos, desse modo, é indispensável a presença de atores e pensadores pragmáticos que implementem as visões da I4.0 no chão de fábrica. Os encarregados pela gestão devem ser capazes de tornar conceitos complexos em trabalhos realistas, encontrando e atribuindo pessoas e equipes apropriadas. Visto que a I4.0 não possui metodologia direta estabelecida, é vital incentivar novas abordagens e soluções “fora da caixa”, porém sempre levando em conta o risco de fracasso.

Erol et al. (2016) acrescentam que o perfil do trabalhador deve conter conhecimentos específicos relacionados a I4.0. Os trabalhadores precisam entender o básico de tecnologia de redes e processamento de dados. Os fluxos de material e trabalho estarão acompanhados de respectivos fluxos de informação e referentes equipamentos de processamento de informações, como sensores, RFID e computadores embarcados. Os funcionários necessitarão avaliar se os sistemas estão funcionando como deveriam e devem ser capazes de interagir com eles por meio de interfaces apropriadas. Engenheiros e outros postos mais elevados devem possuir conhecimento amplo sobre as relações entre os componentes mecânicos, elétricos e computacionais para, assim, poder desenvolver produtos e processos inovadores e resolver problemas de forma eficiente. Software e dados são elementos chave, sendo assim, é indispensável o conhecimento sobre arquitetura de software, métodos estatísticos, modelagem

e programação (DWORSCHAK et al., 2011 apud EROL et al., 2016; SPATH et al., 2013 apud EROL et al., 2016).

#### **4.2 Gestão e padronização de dados**

De acordo com Chen (2017), a implementação de IoT e CPS nas fábricas inteligentes baseia-se na automação das seguintes funções: adquirir dados, tomar decisões e agir. O desafio está em processar informações de modo que a decisão certa possa ser tomada, no local e momento certo, com pouca ou nenhuma intervenção humana.

Ainda segundo Chen (2017), um dos conceitos mais relevantes na área de tecnologia de informação é o de *Big Data*. Ele refere-se ao processo de extrair informações relevantes de grandes volumes de dados, reconhecendo padrões sistemáticos e correlações que, em um primeiro momento, não são óbvias. Uma grande quantidade de dados, que provém das máquinas, produção, logística e *feedback* do consumidor, está disponível. Analistas convencionais não conseguem lidar com esse volume, com isso em vista, novos procedimentos e métodos estão sendo desenvolvidos para realizar a análise de *Big Data*, como técnicas de correlação, modelagem estatística e *Machine Learning*. Com essa abordagem, busca-se obter as informações mais importantes do conjunto de dados, de modo que a decisão correta possa ser tomada.

Chen (2017) também indica que estão em alta os estudos sobre *Machine Learning*. Esse campo baseia-se na capacidade do computador de aprender por meio de algoritmos computacionais baseados em dados. Assim, explora algoritmos que podem aprender com seus erros e realizar previsões sobre dados, utilizando, para isso, inputs amostrais e reconhecimento de padrões. É empregado em atividades em que a programação usual encontra dificuldades, como motores de busca, filtragem de *spam* e processamento de linguagem natural. Na I4.0, visto que a regulação de um processo baseado na descrição de todas as condições presentes é inviável e demasiadamente complexo, técnicas de *Machine Learning* podem ser empregadas para capturar pontos essenciais e desenvolver, a partir desses, soluções que possibilitem a regulação e otimização das tarefas (NEUGEBAUER et al, 2016).

Outro ponto destacado por Chen (2017) é o de computação em nuvem. Trata-se do oferecimento de serviços de computação, como armazenamento, servidores e softwares por meio da internet. O armazenamento de dados é feito em serviços que podem ser acessados de qualquer dispositivo, sem necessidade de instalar programas ou armazenar informações em

unidades físicas. O acesso remoto resulta em maior flexibilidade e versatilidade no acesso à dados, arquivos e programas. No cenário da Indústria 4.0, a computação em nuvem permite concentrar e analisar dados produzidos pela rede de produção dispersa, monitorar condições remotamente, e também aplicar algoritmos *Machine Learning* para manutenção preditiva e prescritiva.

Schröder (2016) reconhece que os contrapontos desse cenário se encontram na falta de padrões e normas referentes a sistemas de tecnologia de informação. Esse fato leva a insegurança e pouca iniciativa por parte das empresas, em especial médias e pequenas, em integrar os sistemas de tecnologia de informação existentes e torná-los mais abrangentes. Há receio em fazer grandes investimentos e fixar-se em uma interface que talvez não seja amplamente adotada, isso é prejudicial visto que o ideal é alcançar um grande número de parceiros de rede para desenvolver todo o potencial da I4.0.

Schröder (2016) afirma que progresso vem sendo feito com o desenvolvimento de *Open Platform Communications Unified Architecture* (OPC-UA). Trata-se de uma plataforma padrão para troca de dados de forma segura, contínua e confiável entre dispositivos e equipamentos de diversos fornecedores e fabricantes. Porém, um padrão de fato ainda não foi estabelecido.

### **4.3 Segurança digital**

Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) reconhecem que segurança e proteção são críticos para sistemas de manufatura inteligente. É importante assegurar que instalações da produção não representem um perigo às pessoas e ao ambiente. Ao mesmo tempo, as instalações e os produtos, em especial os dados e informações que eles contêm, precisam ser protegidos contra uso indevido e/ou não autorizado. Algumas medidas para atingir esses objetivos são, por exemplo, a implantação de arquiteturas de segurança e proteção, sistemas de identificação e investimentos em treinamento e desenvolvimento profissional contínuo.

Wang et al. (2016) apontam a necessidade de proteger diversas informações sobre clientes, fornecedores, estratégias comerciais e conhecimentos práticos. O acesso desse material por terceiros não autorizados, como *hackers*, pode gerar prejuízos financeiros e disputas legais. Por outro lado, máquinas e objetos físicos também estão conectadas a rede, assim, podem ser desconfigurados e levados a agir de modo destrutivo, causando perda direta de propriedade.



Neugebauer et al. (2016) reforçam que um aspecto vital se refere à segurança e proteção dos sistemas de tecnologia da informação no que diz respeito à análise e troca de dados. A alta dependência da I4.0 em controle digital orientado a dados e conexões digitais a sistemas periféricos, como fornecedores de energia, sistemas externos de tecnologia da informação e logística resulta em novas vulnerabilidades. Atividades maliciosas podem se encontrar no campo digital, não requerendo invasão física para prejudicarem seus alvos. *Malwares*, manipulação de dados e sistemas podem causar prejuízos como paralisação da produção, manipulação de produtos e acesso ilegal a dados sigilosos.

#### 4.4 Integração de dados

Na visão de Chen (2017), com a implementação de recursos como IoT, *Big Data* e sistemas de tecnologia da informação, grande quantidade de dados fica disponível por todo o ciclo de vida de um produto, desde a aquisição da matéria prima, passando pela etapa de manufatura e pelo processo de vendas. De acordo com Kagermann, Wahlster e Helbig (2013), um dos fatores de sucesso da I4.0 está em utilizar a informação gerada de modo a integrar os processos e otimizar a logística por toda a cadeia de abastecimento.

Uma questão relevante é a de conectividade contínua dentro de uma empresa (CHEN, 2017; KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013; WANG et al., 2016). Chen (2017) ressalta a conexão entre todos os estágios de um produto, partindo de sua concepção e projeto, tanto de engenharia como *design*, passando pela etapa de produção e, por fim, chegando a seção de *marketing* e vendas. Nesse sentido, permite-se traçar estratégias que envolvam conhecimento de todas as áreas e utilizar recursos como informação, capital e recursos humanos com maior efetividade e eficiência.

Outro tópico diz respeito ao relacionamento da companhia com seus fornecedores, distribuidores e parceiros (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013; WANG et al., 2016). Hofmann e Rüsçh (2017) destacam que, no cenário da Indústria 4.0, os participantes estão conectados com o objetivo de compartilhar informação e dados. As companhias compartilham dados que auxiliam a logística de toda a cadeia de abastecimento, permitindo notar tendências do mercado e prever cenários futuros. Assim as empresas podem se ajustar ao mercado em tempo real, por exemplo: direcionando sua produção para um produto que está em alta, e caso o mesmo sofra queda nas vendas, a informação é obtida com rapidez de modo a possibilitar que a produção permaneça consistente à demanda.

Integração de *ponta a ponta* é outro ponto importante desse modelo. No chão de fábrica, as máquinas e equipamentos não estão isolados, mas são parte de um sistema. Assim, busca-se coordenar todos os componentes do sistema para atingir maior produtividade e eficiência. Além disso, a tendência é intensificar a produção orientada ao consumidor, aumentando a *customização* e implementando *batches size one* (lotes de tamanho individual). Com isso, integra-se o consumidor ao processo de criação de valor e se obtém *feedbacks* do mesmo com facilidade e rapidez (LASI et al., 2014; CHEN, 2017; KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013; HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016; WANG et al., 2016).

## 5. Impactos nos sistemas de produção

A seguir são apresentados impactos e mudanças esperadas com a aplicação dos conceitos referentes à Indústria 4.0 nos sistemas de produção, com foco em processos, produtos e logística.

Quanto a processos e produtos, Wang et al. (2016) notam que, no modelo atual, o foco da linha de montagem é em um único produto. Máquinas redundantes não existem, pois cada equipamento tem o seu controlador independente porém a comunicação entre máquinas raramente ocorre. De acordo com Wang et al. (2016), os sistemas de produção da Indústria 4.0 mudam o cenário com o objetivo de produzir diferentes tipos de produtos ou produtos *customizados*. Nesse sentido, existem máquinas redundantes e os equipamentos se comunicam a fim de permitir a reconfiguração necessária para produzir diferentes produtos e/ou produtos *customizados*. Com isso, a linha de montagem deve possibilitar várias rotas de fabricação.

Wang et al. (2016) propõem exemplos de impactos da I4.0, como: disponibilidade de recursos variados e rotas dinâmicas, a fim de tornar possível a coexistência de manufatura de produtos diversos; conexões abrangentes e convergentes, com objetivo de conectar máquinas, produtos e sistemas de informação de modo a permitir a interação entre os mesmos; e auto-organização, um controle compartilhado entre as entidades presentes, permitindo que o sistema se organize e lide com as dinâmicas da produção de forma automatizada.

Em relação a logística, Hofmann e Rüsç (2017) apontam que o constante fluxo de material e informação por toda a cadeia de abastecimento permite aprimorar os métodos *kanban* e *just in time* e estendê-los para as relações entre fornecedores, produtores e distribuidores. Empregando transparência total pela cadeia de abastecimento, pode-se tornar viável um cenário em que, assim que uma demanda é reportada, o setor responsável (ou

fornecedor no caso entre organizações) é notificado em tempo real e pode supri-la do melhor modo possível.

Ainda de acordo com Hofmann e Rüsç (2017), essas técnicas permitem a obtenção de recursos em quantidade e tempo ótimos, com isso, pode-se reduzir estoques e minimizar o efeito *chicote*, ou seja, a distorção da percepção de procura ao longo da cadeia de abastecimento. Os riscos se encontram em grandes flutuações do mercado, imprecisões e falta de flexibilidade. Portanto, transparência de dados, monitoramento em tempo real e altos padrões a respeito de fluxo de informação e qualidade de produto são fatores chave para o sucesso desse modelo.

A respeito dos obstáculos enfrentados pelas organizações, Bauer et al. (2015) apontam que a volatilidade do mercado resulta em grandes flutuações de pedidos, tempos de entrega mais curtos e diminuição da capacidade de planejamento antecipado. Essa situação requer flexibilidade na distribuição de trabalhadores, cadeias de abastecimento responsivas, e ciclos de materiais auto-reguláveis baseados em manufatura enxuta. Bauer et al. (2015) acrescentam que o desafio está em encontrar equilíbrio entre padrões de qualidade ótimos, habilidade em distribuir produtos rapidamente e estratégia de preços competitivos.

Neugebauer et al. (2016) conclui indicando que a fábrica do futuro se parecerá mais com um organismo inteligente, interativo e com capacidade de aprendizagem, ao invés de uma disposição estática de máquinas, processos predefinidos e divisão rígida do trabalho.

## **6. Considerações finais**

Neste trabalho, foram apresentados os principais elementos, fatores de sucesso e impactos associados à implantação da Indústria 4.0.

Foram identificados como elementos da Indústria 4.0 a Internet das Coisas, Sistemas Ciber-Físicos e as Fábricas Inteligentes. Destacam-se o estabelecimento de um fluxo altamente integrado de material e informação por todo o sistema de produção e os progressos em manufatura, engenharia, uso de material e gerenciamento de redes de abastecimento provenientes da implantação desse modelo.

Os fatores de sucesso abordaram perfil do trabalhador; gestão e padronização de dados; segurança digital; e integração de dados. Relativo ao perfil do trabalhador ressalta-se a mudança no papel dos funcionários, que assumirão maiores responsabilidades, necessitando entender as relações entre processos, fluxos de material e informação, eventuais problemas e possíveis soluções. Quanto à gestão e padronização de dados, destacam-se o emprego de

*machine learning* para a regulação e otimização de tarefas; e a imprescindibilidade de uma plataforma para a troca de dados de forma segura, contínua e confiável. No tocante à segurança digital, reforça-se a disponibilidade de uma rede de dados que trabalhe com dados provenientes de diversas fontes e garanta segurança e confiabilidade. Referente à integração de dados, notam-se a questão da conectividade contínua, que permite desenvolver estratégias envolvendo os diferentes setores de uma empresa; e a integração de *ponta a ponta*, que diz respeito à associação de máquinas e equipamentos em um sistema, a *customização* da produção e ao *feedback* do consumidor.

Finalmente, relativo aos impactos associados à Indústria 4.0, ressaltam-se a existência de rotas de produção dinâmicas e comunicação entre os equipamentos a fim de permitir a regulação necessária para produzir diferentes produtos e/ou produtos customizados; e progressos referentes à logística que, empregando transparência de dados e monitoramento em tempo real, resultam em cadeias de abastecimento mais responsivas.

O emprego de tecnologia e estrutura nos moldes da Indústria 4.0 requererá sólidas bases financeiras. Com isso em vista, o investimento e retorno financeiro dos elementos da I4.0 é identificado como tema para pesquisas futuras.

As limitações do método utilizado se encontram em seu escopo, visto que as ideias expostas baseiam-se em uma revisão bibliográfica limitada; na barreira linguística, que restringiu a análise a publicações em inglês ou português; e na subjetividade do autor na seleção de textos. Desse modo, é possível que algum material relevante não tenha sido analisado.

A aplicação de inovações, com a finalidade de manter a otimização de processos produtivos e a redução de custos, configura outro ponto identificado para pesquisas futuras. Destacam-se as possibilidades de emprego de manufatura aditiva, *machine learning*, *big data* e manutenção preditiva e prescritiva.

Por fim, pretende-se, futuramente, realizar estudos de caso em empresas que empreguem elementos da Indústria 4.0.

#### Referências

- BAUER, W; HÄRMELEE, M; SCHLUND, S; VOCKE, C. Transforming to a hyper-connected society and economy—towards an “Industry 4.0”. *Procedia Manufacturing*, v. 3, p. 417-424, 2015.
- CHEN, B; WAN, J; SHU, L; LI, P; MUKHERJEE, M; YIN, B. Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges. *IEEE Access*, v. 6, p. 6505-6519, 2018.
- CHEN, Y. Integrated and Intelligent Manufacturing: Perspectives and Enablers. *Engineering*, v. 3, n. 5, p. 588-595, 2017.

- DRATH, R; HORCH, A. Industrie 4.0: Hit or hype? *IEEE industrial electronics magazine*, v. 8, n. 2, p. 56-58, 2014.
- DWORSCHAK, B; ZAISER, H; MARTINETZ, S; WINDELBAND, L. *Zukünftige Qualifikationserfordernisse durch das Internet der Dinge in der Logistik*. Frequenz, 2011.
- EROL, S; JÄGER, A; HOLD, P; OTT, K; SIHN, W. Tangible Industry 4.0: a scenario-based approach to learning for the future of production. *Procedia CIRP*, v. 54, p. 13-18, 2016.
- GIL, A. *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo, v. 5, n. 61, p. 16-17, 2002.
- GIUSTO, D; IERA, A; MORABITO, G; ATZORI, L. *The internet of things: 20th Tyrrhenian workshop on digital communications*. Springer Science & Business Media, 2010.
- HERMANN, M; PENTEK, T; OTTO, B. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In: *System Sciences (HICSS), 2016 49th Hawaii International Conference on*. IEEE, 2016. p. 3928-3937.
- HOFMANN, E; RÜSCH, M. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, v. 89, p. 23-34, 2017.
- KAGERMANN, H. Change through digitization - Value creation in the age of Industry 4.0. In: *Management of permanent change*. Springer Gabler, Wiesbaden, 2015. p. 23-45.
- KAGERMANN, H; WAHLSTER, W; HELBIG, J. *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group*. Forschungsunion, 2013.
- LANZA, G; HAEFNER, B; KRAEMER, A. Optimization of selective assembly and adaptive manufacturing by means of cyber-physical system based matching. *CIRP Annals*, v. 64, n. 1, p. 399-402, 2015.
- LASI, H; KEMPER, H; FETTKE, P; FELD, T; HOFFMANN, M. Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, v. 6, n. 4, p. 239-242, 2014.
- LEE, E. A. Cyber physical systems: Design challenges. In: *11th IEEE Symposium on Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC)*. IEEE, 2008. p. 363-369.
- LUCKE, D; CONSTANTINESCU, C; WESTKÄMPER, E. Smart factory - a step towards the next generation of manufacturing. In: *Manufacturing systems and technologies for the new frontier*. Springer, London, 2008. p. 115-118.
- NEUGEBAUER, R; HIPPMANN, S; LEIS, M; LANDHERR, M. *Industrie 4.0-From the perspective of applied research*. 2016.
- SCHRÖDER, C. The challenges of industry 4.0 for small and medium-sized enterprises. *Friedrich-Ebert-Stiftung, Bonn*, 2016.
- SPATH, D; GANSCHAR, O; GERLACH, S; HÄRMMELE, M; KRAUSE, T; SCHLUND, S. *Produktionsarbeit der Zukunft-Industrie 4.0*. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2013.
- WANG, S; WAN, J; LI, D; ZHANG, C. Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, v. 12, n. 1, p. 3159805, 2016.

**Os autores agradecem o apoio da USP, da CAPES e do CNPq.**