

# Indústria 4.0: características e potenciais impactos no ambiente interno das empresas

Reinaldo Guerreiro<sup>1</sup> , Juliana Ventura Amaral<sup>2</sup> , Paschoal Tadeu Russo<sup>2</sup> , Daniel Magalhães Mucci<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brasil.

<sup>2</sup>Fundação Instituto de Pesquisas Contábeis, Atuariais e Financeiras, São Paulo, São Paulo, Brasil.



<sup>1</sup>reiguerr@usp.br

<sup>2</sup>juliana.amaral@fipecafi.org

<sup>2</sup>paschoal.russo@fipecafi.org

<sup>1</sup>danielmmucci@usp.br

Editado por:  
Edvalda Leal

## Resumo

**Objetivo:** Analisar os elementos estruturantes da Indústria 4.0 e refletir sobre os seus potenciais impactos no ambiente de negócios e no ambiente interno das empresas de manufatura utilizando como base a abordagem dos subsistemas organizacionais proposto por Guerreiro (1989).

**Metodologia:** Este trabalho caracteriza-se como bibliográfico e descritivo, pauta-se nas características da Indústria 4.0. e nas implicações para o ambiente interno das organizações a partir de evidências de estudos anteriores.

**Resultados:** Está em curso a quarta revolução industrial, que começou no início do terceiro milênio com o advento da Internet e que tem provocado mudanças nas formas de produção e nos modelos de negócios das empresas. O estudo discute diferentes tipos de tecnologias que afetam cada um dos subsistemas como: Subsistema institucional (crenças e valores da indústria 4.0), Subsistema Social (competências digitais e de automação, liderança mediada por realidade virtual e aumentada), Subsistema Organizacional (integração de cadeia de valor, estruturas complexas e autônomas), Subsistema de Gestão (processo decisório de máquina, inteligência artificial), Subsistema de Informações (big data, sistemas autônomos, computação na nuvem), Subsistema Físico-Operacional (novos insumos físicos, biológicos e digitais, novas tecnologias produtivas como robôs autônomos, Automação de Processos, Sistema Integrado Máquina a Máquina e impressão 3D).

**Contribuições:** A principal contribuição deste trabalho é a análise dos elementos da Indústria 4.0, bem como a avaliação do impacto dessa revolução tecnológica e de negócios, nos diversos subsistemas empresariais. Complementarmente, do ponto de vista acadêmico, este trabalho pode se constituir em uma plataforma conceitual sobre o tema para orientar futuros estudos empíricos.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0, subsistemas organizacionais, revolução industrial, quarta revolução.

## Como Citar:

Guerreiro, R., Ventura Amaral, J., Tadeu Russo, P., & Magalhães Mucci, D. Indústria 4.0: Características e Potenciais Impactos no Ambiente Interno das Empresas. Advances in Scientific and Applied Accounting, 092-104/105. <https://doi.org/10.14392/asaa.2023160305>

Submetido em: 6 de Setembro de 2023  
Revisões Requeridas em: 26 de Setembro de 2023  
Aceito em: 10 de Outubro de 2023

## Introdução

A sociedade e mais especificamente o ambiente industrial vem evoluindo tecnologicamente há quase três séculos, por ciclos denominados revoluções industriais. Schwab (2016) menciona que a palavra revolução remete à mudança abrupta e radical, e que, na história, as revoluções ocorrem a partir de novas tecnologias e novas formas de perceber o mundo e, por consequência, levam a mudanças nas estruturas sociais e nos sistemas econômicos.

A primeira revolução industrial, que ocorreu do final do século XVIII (1760) até o início do século XIX (1850), foi marcada por processos manuais que passaram a ser executados com o auxílio de máquinas mecânicas utilizando-se como fonte de energia o vapor. A segunda revolução industrial, que começou no final do século XIX (1850) e terminou aproximadamente em 1945, foi caracterizada pela eletrificação das fábricas e a aplicação do conceito de produção em massa e por invenções relevantes como do automóvel e do avião. A terceira revolução industrial, datada entre 1945 e 1970, foi um resultado do desenvolvimento em tecnologia eletrônica, dos semicondutores e equipamentos automatizados, nas telecomunicações e nos processos de fabricação, sendo caracterizada pela automação industrial e integração de sistemas mecânicos e eletrônicos. A quarta revolução industrial começou no início do terceiro milênio com o advento da *Internet* e está em curso, portanto, não está completamente caracterizada (Schwab, 2016), ela refere-se à revolução digital na manufatura (Nosalska et al., 2020).

Do ponto de vista tecnológico, até o momento, a quarta revolução industrial engloba de forma integrada a aplicação na manufatura de amplo conjunto de tecnologias avançadas, tais como, a robótica, *big data*, computação em nuvem, inteligência artificial e *internet* das coisas. Essas tecnologias estão provocando transformações nos modelos de negócios das organizações. Ao propiciar fábricas inteligentes, a quarta revolução industrial cria um mundo no qual os sistemas de manufatura trabalham nas dimensões virtual e física de forma cooperativa, permitindo a personalização absoluta dos produtos e a criação de novos modelos operacionais (Kagermann, 2015).

O burburinho em torno dessa nova revolução colocou os holofotes de volta à produção industrial e ao emprego industrial depois de ambos quase terem sido relegados a “textos históricos”. A atividade industrial, em vários países, já era vista como descartada, sendo considerada tão somente um resíduo em uma sociedade pós-industrial. A ideia da quarta revolução industrial foi iniciada pelo governo alemão e apareceu pela primeira vez na feira industrial de Hannover em 2011, sob a expressão alemã “*Industrie 4.0*”, criada e promovida por três engenheiros:

Henning Kagermann, físico e um dos fundadores da SAP, Wolfgang Wahlster, professor de inteligência artificial e Wolf-Dieter Lukas, físico e alto funcionário do Ministério Federal Alemão de Educação e Pesquisa. Na Alemanha, o termo “*Industrie 4.0*”, tornou-se elemento de comunicação e de *marketing* conhecido sobre o pensamento da indústria do futuro (Pfeiffer, 2017).

Nosalska et al. (2020) trazem que além do termo Indústria 4.0, outras expressões são usadas para designar a quarta revolução, destacando, “fábricas inteligentes”, “indústria inteligente”, “manufatura digital” e “produção inteligente”. Quaisquer que sejam as definições empregadas, a Indústria 4.0 pode ser considerada como uma combinação de tecnologia inteligente que transcende os campos físico, digital e biológico e que fornecem base para a informatização da manufatura. Envolve a coleta de dados dos processos de manufatura, da logística de suprimento e da logística de abastecimento, utilizando captadores de dados das operações, tais como sensores, smartphones e outros aparelhos.

Em síntese, a Indústria 4.0 envolve uma total transparência do ambiente operacional, no qual operações robotizadas produzem dados captados por sensores, dados esses armazenados com a utilização do conceito de *big data* e facilitados pelo conceito de computação em nuvem, sendo utilizados para tomada de decisões através do uso de algoritmos. Essa massa de dados, no final, é utilizada pela tecnologia de inteligência artificial onde máquinas processam a tomada de decisões.

Os estudos sobre esse tema, de forma geral, concentram-se fortemente nos aspectos tecnológicos da Indústria 4.0, sendo escassos os estudos que abordam sua interação na gestão de negócios e no controle de gestão. Pereira e Romero (2017) especificamente mencionam que a influência da Indústria 4.0 tem sido amplamente pesquisada por acadêmicos e profissionais nos últimos anos, mas que suas potenciais consequências na indústria e na manufatura ainda não estão claramente definidas. Nesse sentido, este trabalho de cunho bibliográfico e descritivo, pautou-se pela seguinte questão de pesquisa orientadora: Quais são os potenciais impactos da denominada Indústria 4.0 nos subsistemas das empresas industriais? O objetivo do estudo consiste na análise dos elementos estruturantes da Indústria 4.0 e na reflexão de seus potenciais impactos no ambiente de negócios e no ambiente interno das empresas de manufatura utilizando como base a abordagem dos subsistemas organizacionais proposto por Guerreiro (1989).

No Brasil, e de modo similar em outros países do mundo, pode-se dizer que o desenvolvimento da Indústria 4.0 envolve diversos desafios como investimentos em

equipamentos que abarquem novas tecnologias, à adaptação de *layouts* de fábrica e de processos de produção, assim como a criação de novas competências, entre outras (CNI, 2016).

Du Chenne (2019) ressalta que as tão proclamadas mudanças há longo tempo estão finalmente batendo à porta e que nos próximos 10 anos os ambientes de produção e de distribuição serão irreconhecíveis. Decisões gerenciais serão tomadas mediante inteligência artificial, o que tornará o papel dos profissionais de gestão ainda mais desafiador. Logo, compreender de forma estruturada como a Indústria 4.0 pode impactar a gestão empresarial, mediante os subsistemas empresariais pode contribuir com a atuação dos profissionais ao passo que pontua de forma analítica as consequências da nova Revolução. Ort et al. (2020) frisam que a crescente competição global, girando em torno de custos de produção e qualidade, é cada vez mais observada nas empresas industriais. A competição EUA-China no setor manufatureiro está se tornando mais acirrada com o risco de escalada para uma guerra comercial. Em decorrência dessa competição, muitos países do mundo estão investindo na Indústria 4.0, como China, EUA, Alemanha e diversos outros países.

Do ponto de vista teórico este trabalho endereça uma lacuna na literatura no que se refere aos sistemas envolvidos na Indústria 4.0 (Cimini et al., 2017). A abordagem dos sistemas empresariais e dos impactos da indústria 4.0 pode ampliar o conhecimento sobre o tema, revelando dimensões específicas do processo gerencial. Ademais, a Indústria 4.0 é algo em processo de evolução, podendo ser observado que, fora dos países sob influência da língua alemã a terminologia Indústria 4.0 é pouco conhecida (Lasi et al., 2014). Nesse sentido é importante a constatação de Pfeiffer (2017) de que não existe uma única Indústria 4.0. Quais inovações serão adaptadas em cada região do mundo e por quais empresas depende de configurações específicas induzidas por diversos fatores, tais como, o grau de automação, complexidade do produto, cadeias de valor e tecnologia de produção. Pfeiffer (2017) enfatiza que há pouco conhecimento sobre esses fatores na economia atual inclusive na produção industrial alemã. A autora ressalta que não há registro de estatísticas oficiais, por exemplo, sobre quantas pessoas trabalham em estações de montagem híbridas (semiautomáticas) ou quais empresas planejam manutenção preventiva com suporte de dados. Assim ressalta que, “dada a falta de dados robustos, devemos ser muito cautelosos com os prognósticos” (Pfeiffer, 2017, p. 111).

Na sequência desta introdução, é apresentada e discutida a fundamentação teórica que embasa este trabalho, com foco no conceito de sistema e na visão sistêmica da empresa, e também no conceito de Indústria 4.0 e nos seus elementos estruturantes. Na seção 3, são descritos os impactos da indústria 4.0 nos subsistemas empresariais,

e na última seção apresentadas as considerações finais.

## 2. Fundamentação Teórica

### 2.1. Conceito de Sistema e Visão Sistêmica da Empresa

Uma das mais importantes contribuições teóricas, com aplicações em diversos campos de conhecimento, é a denominada Teoria Geral dos Sistemas – TGS. Essa teoria foi desenvolvida pelo biólogo austríaco Ludwig von Bertalanffy (Von Bertalanffy, 1968). Mele et al. (2010) mencionam que Von Bertalanffy promove a ideia de sistemas pensando em todas as disciplinas, a fim de encontrar princípios gerais válidos para todos os sistemas. Esse autor seminal introduz “sistema” como um novo paradigma científico que contrasta ou concorre com o paradigma analítico, mecânico, tradicionalmente observado na ciência clássica.

A teoria de sistemas consiste em uma perspectiva teórica que permite analisar um fenômeno como um todo e não apenas como a soma de partes elementares. O foco desta teoria se dá nas interações e nos relacionamentos entre as partes de uma organização, promovendo um diálogo entre holismo e reducionismo (Mele et al., 2010). Um sistema pode ser definido como “uma entidade, que é um todo coerente, tal que um limite é percebido ao seu redor, a fim de distinguir elementos internos e externos e identificar entradas e saídas relacionadas a e emergindo da entidade” (Mele et al., 2010, p. 127).

Von Bertalanffy (1968) define um sistema como um complexo de elementos que interagem, os quais denominam-se subsistemas. No âmbito empresarial Emery e Trist (1960) abordam organizações como sistemas sócio-técnicos, destacando os dois componentes da empresa dentro da ótica de um sistema: um componente social (pessoas) e um componente técnico (tecnologia e máquinas).

No trabalho de Guerreiro (1989) é apresentado o conceito de visão sistêmica da empresa que pode ser desdobrado em um conjunto analítico de subsistemas. Nessa abordagem, o sistema empresa é formado por seis subsistemas, cuja análise permite uma visão abrangente e completa do ambiente interno das organizações. Os subsistemas são: subsistema institucional, subsistema social, subsistema organizacional, subsistema de gestão, subsistema de informação e subsistema operacional (Catelli, 2001; Guerreiro, 1989). Esses subsistemas serão discutidos com maior detalhe na seção 3.

### 2.2. Indústria 4.0

#### 2.2.1. Conceito da Indústria 4.0

Uma definição objetiva para a Indústria 4.0 pode ser encontrada no trabalho de Nosalska et al. (2020, p.

849): “A Indústria 4.0 é um conceito de mudanças organizacionais e tecnológicas, juntamente com a integração da cadeia de valor e desenvolvimento de novos modelos de negócios que são direcionados pelas necessidades do cliente e pelos requisitos da customização em massa, e habilitados por tecnologias inovadoras, conectividade e integração de tecnologia de informação”.

Dessa definição, pode-se depreender que a Indústria 4.0 compreende desde fábricas inteligentes a mudanças vertiginosas no consumo de massa em diferentes mercados, de modo que a integração tecnológica se manifesta em toda a cadeia de valor (Müller & Birkel, 2020) e contribui para a performance (Dalenogare et al., 2018). Essas transformações são gatilhos para mudanças tecnológicas substanciais nos múltiplos setores produtivos, gerando um aumento na heterogeneidade das indústrias, e ao mesmo tempo, aprofundando a lacuna estrutural existente anteriormente à quarta revolução industrial (Mon & Giorgio, 2022). Conforme posto por Oesterreich e Teuteberg (2016), hoje em dia, a ideia visionária da Indústria 4.0 descreve a tendência em direção à digitalização, automação e o uso crescente de tecnologia da informação e comunicação no setor manufatureiro.

Rüttimann e Stöckli (2016) analisaram criticamente a Indústria 4.0 e concluíram que as novas tecnologias, embora ainda não estejam implementadas em todas as fábricas, já estão causando grande alvoroço. Gažová et al. (2022) observam que a revolução na Indústria 4.0 é fortemente associada à automação, onde companhias implementam linhas de produção automatizadas e têm tarefas individuais desempenhadas por robôs. A automação apresenta-se como “um conjunto de tecnologias que permitem executar operações de máquinas e operações dentro de sistemas, sem intervenção humana relevante” (Gažová et al., 2022, p. 1500).

Pfeiffer (2017) menciona que todos os aparelhos do processo de produção devem ser equipados com transponders, que comunicam posição e status da produção para os equipamentos, que fazem o trabalho de processamento. Nas fábricas inteligentes, construídas com esses princípios, as restrições existentes no sistema de produção em massa podem ser superadas. A ideia é que produtos sejam fabricados sob medida em resposta ao atendimento das necessidades individuais e somente sob demanda. O processo de automação industrial depende da captação de informação de forma automática, sendo possível coletar grandes volumes de dados praticamente sem erros pela ausência de intervenção humana. É esperado que cada produto possa ser único para o atendimento das necessidades dos clientes.

Mujiono (2021) vai adiante e menciona que não só a automação caracteriza a Indústria 4.0, mas também uma série de nove elementos presentes atualmente em maior ou menor dimensão em quase todos os negócios e profissões,

destacando: (i) *Internet das Coisas*; (ii) *Big Data/Data Analytics*; (iii) *Realidade Aumentada/Realidade Virtual*; (iv) *Segurança Cibernética*; (v) *Inteligência Artificial*; (vi) *Robôs Autônomos/Automação de Processos Robóticos*; (vii) *Sistemas Integrados (Máquina a Máquina)*; (viii) *Manufatura Aditiva/Impressora 3 D*; e (ix) *Computação nas Nuvens*. Conhecidos esses nove elementos, cabe mencionar que Roblek et al. (2016) destacam que comunicações da máquina (*machine communications - M2M*) e produtos inteligentes não são considerados como elementos independentes da Indústria 4.0. O M2M é um facilitador da *IoT* e os produtos inteligentes são um subcomponente do sistema ciber físico, que promove conexões entre o mundo real e o mundo virtual. Na sequência são apresentados detalhes de cada um dos nove elementos.

### 2.2.2. Elementos da Indústria 4.0

A *Internet das coisas* é um conceito associado à conexão digital de objetos cotidianos com a *internet*. A *internet das coisas* consiste em uma rede de objetos físicos que possuem a capacidade de receber, reunir e de transmitir dados. Cada vez mais surgem coisas, tais como eletrodomésticos, câmeras de vigilância, meios de transporte, roupas e outros objetos conectados à *Internet* e a outros dispositivos, como computadores e smartphones. A *Internet das Coisas* estabelece redes, dispositivos e serviços inteligentes conectados à web que têm a capacidade de detectar, conectar, inferir e agir. A *Internet das Coisas* permite que sensores e atuadores conectados a computadores facilitem novos produtos e serviços, com redução de custos, aumento de eficiência e da usabilidade dos sistemas existentes (Patel et al., 2016; Shendge, 2021). Uma arquitetura de *Internet das Coisas* é sensível a três quesitos: privacidade, segurança e eficiência dos recursos utilizados (Mujiono, 2021).

O *Big Data* consiste em um conjunto de dados volumosos de grande variedade que chegam com velocidade cada vez maior. Esses conjuntos de dados são tão volumosos que o *software* tradicional de processamento de dados normalmente não tem capacidade para recebê-los e gerenciá-los adequadamente. Dados são necessários para preparar informações que orientam o processo de tomada de decisões. Existem vários tipos de dados, como dados estruturados que corresponde a um banco de dados da empresa que já foi organizado e pode ser processado com análise de dados eficaz, e dados não estruturados, são dados heterogêneos como uma combinação de arquivos de texto, imagens, vídeos, entre outros. As principais etapas para otimizar o trabalho de *big data* são: estabelecer uma estratégia de *big data*, identificar fontes de dados, acessar, gerenciar e armazenar dados, analisar dados e tomar decisões com base em dados (Mujiono, 2021). Addo-Tenkorang e Helo (2016) discutem que o conceito de *big data* evoluiu para cinco atributos (5 V's), sendo eles traduzidos Variedade,

Velocidade, Volume, Veracidade e Valor.

A Realidade Aumentada é a visualização em tempo real de elementos virtuais visuais e/ou auditivos sobrepostos em um ambiente do mundo real. Geralmente, as tecnologias de Realidade Aumentada e Realidade Virtual visam estimular a percepção e os sentidos do usuário para que ele possa sentir que está em um “outro mundo” e interagir nele (Buñ et al., 2021). A diferença é que a Realidade Virtual coloca os usuários em um mundo virtual e a Realidade Aumentada traz efeitos virtuais para o mundo real. Nessa mesma linha, a Realidade Virtual é um ambiente tridimensional gerado por computadores que cria no usuário a sensação de estar imerso nele. Esse ambiente é visualizado por meio de óculos de Realidade Virtual, que podem ser acompanhados de outros dispositivos, como luvas ou trajes especiais, que permitem maior interação com o ambiente, bem como a percepção de diferentes estímulos que aumentam a percepção de realidade.

A Segurança Cibernética baseia-se na implementação de ferramentas e aplicativos que propiciam a integridade, privacidade, confidencialidade e disponibilidade dos ativos dos sistemas de informação das organizações contra ameaças internas e externas (Mon & Giorgio, 2022). A implementação adequada de segurança cibernética objetiva evitar ou reduzir potenciais invasões e ameaças aos sistemas de informação Ainda mais em um cenário crescente de frequência de tráfego no mundo digital que desencadeia em um aumento nos riscos e ameaças digitais. Vários tipos de ameaças cibernéticas são combatidos pela segurança cibernética, como (i) crimes cibernéticos que incluem atores ou grupos isolados que visam invadir sistemas para obter ganhos financeiros ou causar interrupções, (ii) os ataques cibernéticos que envolvem a coleta de informações politicamente motivadas, (iii) o ciberterrorismo que visa danificar sistemas eletrônicos causando pânico ou medo. A inovação em tecnologia digital está se desenvolvendo não apenas em termos de *software*, *hardware* e aplicativos, mas também em ameaças.

A Inteligência Artificial define-se como uma simulação de processos de inteligência humana realizados por máquinas, e que abrange o estudo de dados em constante mudança, o raciocínio para entender os dados e os mecanismos de autocorreção para tomar decisões (Mujiono, 2021). Assim, a Inteligência Artificial inclui (i) simulação dos sentidos humanos, a visão, audição, olfato, paladar e tato, (ii) simulações de aprendizagem e processamento, denominadas aprendizagem profunda e aprendizagem automática, (iii) simulação de respostas humanas, caracterizada como robótica (Bader & Kaiser, 2019). As aplicações de Inteligência Artificial incluem resolução de problemas, jogos, processamento de linguagem natural, reconhecimento de fala, processamento de imagens, programação automática e

robótica (Malik et al., 2021).

Os Robôs Autônomos ou Automação de Processo referem-se aos equipamentos que realizam alguma função de movimentação física através da mecânica artificial são que são denominados robôs. Esses equipamentos são constituídos por computadores que contêm um sistema eletromecânico composto por microprocessadores e *softwares* que permite a execução de tarefas repetitivas automáticas independentes do controle humano. A Automação de Processo Robótico é uma tecnologia de *software* que facilita a criação, implantação e gerenciamento de robôs de *software* que imitam as ações humanas para interagir com sistemas e *softwares* digitais. Assim como os humanos, os *softwares* robóticos têm a capacidade de concluir a execução correta dos botões, navegar no sistema, identificar e extrair dados e realizar ações pré-programadas. O *software* robô executa trabalhos repetitivos e de baixo valor, como fazer login em aplicativos e sistemas, mover arquivos, pastas, extrair, copiar, inserir dados, preencher formulários e concluir análises de relatórios. Robôs avançados também são capazes de realizar processos cognitivos, como interpretar textos, participar de conversas, compreender dados não estruturados e também aplicar modelos avançados de aprendizado de máquina. Quando os robôs executam esses tipos de tarefas repetitivas e de alto volume, os humanos se concentram no que precisa ser feito de mais importante, ou seja, inovar, colaborar, criar e interagir com os clientes (Mujiono, 2021).

O Sistema Integrado Máquina a Máquina refere-se à comunicação máquina a máquina (M2M) e descreve qualquer tecnologia que permita que dispositivos em rede troquem informações e executem ações sem nenhum tipo de assistência humana manual. A Inteligência Artificial e o Aprendizado de Máquina facilitam a comunicação entre sistemas de modo que eles façam suas próprias escolhas (Mujiono, 2021). M2M é a base da *Internet* das Coisas ao permitir que a tecnologia controle dados de equipamentos remotos, sendo que os aplicativos M2M traduzem dados que podem acionar ações automáticas pré-programadas aplicáveis em um ambiente industrial (Manavalan & Jayakrishna, 2019). O sistema de aplicativos M2M tem sido amplamente aplicado em negócios digitais e podemos encontrar a forma do dispositivo/aplicativo em nossa vida diária, como máquina de venda automática, sistemas domésticos inteligentes, *software* de controle remoto, entre outras aplicações.

A Manufatura Aditiva também conhecida como impressão 3D é o processo de construção de itens combinando camadas de material de um arquivo CAD - *Computer Aided Design* (Mujiono, 2021), cuja tecnologia tem transformado drasticamente o ambiente industrial. As impressoras 3D são compostas por um conjunto de tecnologias de fabricação por adição, onde um objeto tridimensional é criado pela sobreposição de

sucessivas camadas de material. Eles permitem melhorar a comunicação, por ter um modelo 3D realista em cores para transmitir muito mais informações do que com uma imagem de computador. O objeto é construído camada por camada usando diferentes materiais, como polímeros, compósitos, pastas cerâmicas e metais. A Manufatura Aditiva está mais inclusivamente associada a aplicações industriais, como a produção em massa de componentes físicos como insumos ou produtos finais (Mujiono, 2021). Um dos principais benefícios está associado à flexibilidade, uma vez que são substituídas máquinas específicas cuja função é limitada a um determinado produto.

A Computação em Nuvem pode ser definida como serviços de computação via *internet* (nuvem), que incluem servidores, armazenamento, bancos de dados, rede, *software*, análise e inteligência de dados. A computação em nuvem promove uma série de benefícios como rapidez, flexibilidade e economias de escala (Mujiono, 2021). Em particular, a computação em nuvem leva à redução de custos operacionais, à eficiência para executar a infraestrutura e flexibilidade para transformar os negócios. Os principais motivos que levam as organizações a optarem pela computação em nuvem são custo, velocidade, escala global, produtividade, desempenho, confiabilidade e segurança. Vários tipos de computação em nuvem se desenvolveram com diferentes serviços, como nuvem pública, nuvem privada e nuvem híbrida (Mujiono, 2021). As nuvens públicas são operadas através de provedores de serviços de nuvem terceirizados. Nuvem privada refere-se a recursos de computação (serviço e infraestrutura) em nuvem exclusiva de uma organização, sendo gerenciada em uma rede privada. Por sua vez, as nuvens híbridas combinam nuvens públicas e privadas de modo que dados e aplicativos passam a ser compartilhados entre eles, proporcionando maior flexibilidade, mais opções de implantação e otimização da infraestrutura, da segurança e do compliance (Mujiono, 2021).

### 2.2.3. Impulsionadores de mudanças na Indústria 4.0

Pfeiffer (2017) observa que a Indústria 4.0 viabiliza a criação de uma rede digital com o maior número possível de elementos envolvidos nos processos de produção, de serviços de apoio e de logística, na qual o material se funde com o digital. Uma linha de produção local inserida em cadeias de valor globais deve estar em uma rede virtual global e controlada localmente. Para que isso aconteça, a Indústria 4.0 implica em mudanças nos produtivos das empresas e essas mudanças podem ser de quatro tipos: (i) mudanças nas expectativas dos clientes seja como indivíduos (B2C) ou como empresas (B2B); (ii) mudanças nos produtos, que estão sendo melhorados pelos dados, o que melhora a produtividade dos ativos; (iii) mudanças em como estão sendo formadas novas parcerias, conforme as empresas aprendem a importância de novas formas de colaboração; e (iv) mudanças nos

modelos operacionais, que estão sendo transformados em novos modelos digitais (Schwab, 2016).

Todas essas mudanças provocam impactos significativos na sociedade e “a escala e a amplitude da atual revolução tecnológica irão desdobrar-se em mudanças econômicas, sociais e culturais de proporções tão fenomenais que chega a ser quase impossível prevê-las” (Schwab, 2016, p. 35). Os negócios serão estabelecidos através de redes globais que incorporam equipamentos, sistemas de armazenamento e instalações industriais na forma de Sistemas Ciber-Físicos. Para propiciá-las, os elementos da Indústria 4.0 podem ser agrupados em três tipos de impulsionadores: (i) categoria física, (ii) categoria digital e (iii) categoria biológica.

Como impulsionadores dentro da categoria física, vale elencar os veículos autônomos, a impressão em 3D, a robótica avançada e os novos materiais. Já os principais impulsionadores na categoria digital são a *internet* das coisas (IoT) e os sensores e outros meios de conectar as coisas do mundo físico às redes virtuais, o *blockchain* e principalmente a integração entre esses elementos. Finalmente na categoria biológica destacam-se as inovações da biologia, em especial no sequenciamento genético e os potenciais avanços da biologia sintética.

Nessas três categorias, a tecnologia é apenas o facilitador da Indústria 4.0 e se desenvolve de maneira evolutiva, sendo que o verdadeiramente revolucionário resulta de novos modelos de negócios, que determinam a profundidade da revolução e o ritmo da mudança (Schneider, 2018). Espera-se que os modelos de negócios da Indústria 4.0 sejam projetados em torno de novas propostas de valor, caracterizadas principalmente por produtos altamente individualizados, produtos-serviços integrados e bem sincronizados, combinações e soluções inovadoras de serviços digitais. Essas propostas de valor são impulsionadas pelo uso de dados, integração de clientes em processos de engenharia de produtos e de serviços e crescente importância da parte de *software* dos produtos (Arnold et al., 2016; Iansiti & Lakhani, 2014; Porter & Heppelmann 2014; Schneider, 2018).

Os impulsionadores propiciam mudanças estruturais da base tecnológica manufatureira, permitindo flexibilidade em termos de especificações de produtos, qualidade, *design*, volume de produção e tempo de produção. A Indústria 4.0 também permite o uso mais eficiente de recursos e otimização de custos (Ortt et al., 2020). Ajuda a garantir que os clientes sejam mais bem atendidos e que otimização ocorra não apenas através da cadeia de valor dentro das empresas, mas também através de toda a cadeia de suprimentos das empresas de um setor (Oesterreich & Teuteberg, 2016; Ortt et al., 2020).

Os consumidores atuais tendem a não mais valorizar os aspectos físicos e tangíveis de um produto, mas

principalmente sua funcionalidade, acessibilidade e serviços associados. Por esse motivo, refletir apenas sobre novas propostas de valor não é suficiente ao buscar desenvolver modelos de negócios novos e coerentes para a Indústria 4.0. Decidir se, e em que medida, um modelo de negócios precisa ser adaptado, no entanto, continua sendo um desafio em si (Schneider, 2018). Uma abordagem que pode auxiliar no entendimento dessa adaptação do modelo de negócios é aquela, trazida no estudo de Guerreiro (1999), dos subsistemas empresariais que caracterizam o ambiente interno das organizações.

### 3. Os impactos da indústria 4.0 nos subsistemas empresariais

Sanchez et al. (2020) mencionam que no contexto de sistemas, é importante compreender a interoperabilidade, isto é, a capacidade dos sistemas para entender um ao outro e utilizar as funcionalidades de um no outro, de tal maneira que possam produzir resultados conjuntos. A interoperabilidade permite a troca de informações entre dispositivos, processos de negócios, interfaces, pessoas, entre outros, a fim de resolver conflitos e alcançar execução de suas tarefas.

Nos estudos relacionados ao modelo de gestão econômica (Catelli, 2001), é argumentado que o resultado econômico é a melhor medida de aferição do cumprimento da missão da empresa. No processo de cumprimento das suas missões específicas, as empresas, cada vez mais, buscam oferecer aos clientes produtos e serviços com a melhor qualidade, menor custo e grande rapidez. As observações sobre o novo ambiente da Indústria 4.0 permite inferir que as empresas podem fazer o que faziam anteriormente e fazer novas coisas de forma revolucionária, com uma velocidade maior e com um nível de informação também muito maior.

O trabalho de Nobre (2011) endereça esse ponto fundamental questionando quais são as competências essenciais da nova organização industrial no século XXI. Esse artigo apresenta o conceito e as características do que o autor denomina de sistemas centrados no cliente (*customer-centric systems - CCS*). São novas organizações industriais que estabelecem altos graus de organização, cognição, inteligência e autonomia e, conseqüentemente, altos graus de agilidade e flexibilidade, gerenciando altos níveis de complexidade e incerteza ambiental, para operar através de uma intensa customização em massa com profunda imersão dos clientes.

Pereira e Romero (2017) observam que a Indústria 4.0 mudará significativamente os produtos e sistemas de fabricação em relação ao *design*, processos, operações e serviços. Além disso, espera-se que a Indústria 4.0 possa influenciar a criação de novos modelos de negócios o ciclo de vida dos produtos, que terão grande efeito na indústria e nos mercados e por conseqüência permitir a

melhoria dos processos e aumento da competitividade das organizações. De acordo com esses autores, a Indústria 4.0 levará a potenciais mudanças profundas em vários domínios que vão além do setor industrial. Seu impacto e influência podem ser categorizados em seis áreas principais: (1) indústria, (2) produtos e serviços, (3) modelos de negócios e mercado, (4) economia, (5) ambiente de trabalho e (6) desenvolvimento de competências (Pereira & Romero, 2017).

Nesta seção é utilizada a abordagem da visão sistêmica da empresa proposta inicialmente por Guerreiro (1989). Na abordagem sistêmica, a empresa é caracterizada como um sistema clássico com entradas, processamento e saídas, estruturado a partir de diversos subsistemas integrados, cuja interação resulta uma série de processos e atividades que concorrem para o cumprimento do objetivo maior da empresa, que é o cumprimento de sua missão (Guerreiro, 1999). Nessa perspectiva, o sistema empresa pode ser desdobrado em seis subsistemas, cuja análise permite uma visão abrangente e completa do ambiente interno das organizações. Os subsistemas são: subsistema institucional, subsistema social, subsistema organizacional, subsistema de gestão, subsistema de informação e subsistema operacional. Na seqüência, discute-se como os elementos da Indústria 4.0 tendem a causar mudanças que impactam cada um dos seis subsistemas e que barreiras podem ser encontradas na sua incorporação.

#### 3.1. Subsistema Institucional

Guerreiro (1989) argumenta que uma empresa decorre da necessidade ou do desejo de alguém que tem expectativas a serem atendidas e por isso dispõe-se a investir seu patrimônio num empreendimento. Logo, as crenças, valores e expectativas dos empresários acabam sendo convertidas em diretrizes que irão nortear os demais componentes do sistema empresa. Em outras palavras, o subsistema institucional corresponde ao conjunto de crenças e valores que permeia a organização, estruturado a partir das crenças e valores dos proprietários e dos principais agentes da empresa. As crenças e valores fortemente estabelecidos na cultura organizacional convertem-se em diretrizes e definições que orientam todos os demais subsistemas empresariais. No amplo conjunto de crenças e valores de uma empresa, se destaca um grupo específico, ou seja, crenças e valores relativos à gestão empresarial, que se denomina modelo de gestão (Reginato & Guerreiro, 2011).

As definições do modelo de gestão têm uma importância fundamental porque, em última instância, determinam as características dos demais subsistemas empresariais. As principais crenças e valores subjacentes à cultura da Indústria 4.0 que devem impactar os demais subsistemas da empresa são o atendimento dos clientes com a melhor qualidade, menor custo e da forma mais ágil. Deverá

ser valorizada a incorporação permanente das novas tecnologias da Indústria 4.0 e as empresas deverão assegurar que os seus colaboradores estejam habilitados nas novas tecnologias digitais. A cultura da segurança dos sistemas empresariais contra os ataques cibernéticos deverá ser incentivada cada vez mais.

Como barreiras relacionadas ao sistema institucional que podem ser encontradas, Müller et al. (2018) defendem a percepção dos empresários que os benefícios da Indústria 4.0 demoram muito tempo para serem colhidos. Os autores concluíram que boa parte dos empreendedores entende que a Indústria 4.0 aumenta significativamente os custos sem que a disposição de pagamento dos clientes aumente proporcionalmente. Ou seja, a Indústria 4.0 somente conseguirá ser implantada, se os empresários acreditarem que os custos iniciais serão recompensados.

O estudo de Brettel et al. (2014) vai nessa linha e mostra que a indústria manufatureira alemã está enfrentando uma crescente competição global em termos de qualidade de produto e custos de produção. Os clientes, por sua vez, não estão dispostos a pagar preços mais elevados e, como consequência, muitas empresas manufatureiras alemãs estão ajustando o seu foco para produtos customizados e de rápido *time to market*, isto é, com a diminuição do espaço de tempo entre a concepção do produto e o seu lançamento no mercado.

### 3.2. Subsistema Social

Esse subsistema diz respeito ao conjunto dos elementos humanos da organização, envolvendo assim as características e variáveis relacionadas com os indivíduos: objetivos, capacitação, motivação, necessidades, liderança, entre outros aspectos igualmente relevantes (Guerreiro, 1989). O subsistema social das empresas na quarta revolução industrial será impactado profundamente.

Muito embora alguns autores (Schwab, 2016) procurem minimizar o impacto da quarta revolução no nível de emprego, outros apresentam prognósticos de uma massiva substituição de pessoas por máquinas no ambiente industrial (Mujiono, 2021). Esse novo ambiente 4.0 trará uma mudança significativa nas características dos recursos humanos demandados pelas organizações tendo em vista o nível de digitalização e automação requeridos. Os estudos pesquisados prognosticam novas formas de trabalho, de dedicação e de remuneração.

Pereira e Romero (2017) destacam que é fator fundamental para uma implantação de êxito da Indústria 4.0 o desenvolvimento de habilidades condizentes com as mudanças demográficas e sociais. A visão de futuro do trabalho demanda novas competências ao passo que com a automatização das tarefas, os empregados devem passar a estar preparados para outras atividades. Logo,

colaboradores que não abracem essa nova configuração de trabalho também podem constituir barreiras para a implantação da Indústria 4.0.

### 3.3. Subsistema Organizacional

Esse subsistema refere-se à estrutura de organização da empresa, isto é, a forma como divide e agrupa atividades em departamentos, além de também abranger o grau de descentralização desejável (trade-off entre autoridade e responsabilidade), entre outras diversas questões relacionadas. Um dos aspectos observados nesta pesquisa é o grau de descentralização que deve prevalecer no ambiente da Indústria 4.0. Porém, a integração de processos internos e a integração da cadeia de suprimentos, conceitos já fortemente consolidados nas empresas, passam a ser ainda mais importantes nesse novo ambiente de negócios.

Ao longo do tempo, juntamente com os avanços tecnológicos, a estrutura de organização da produção industrial tem experimentado vários ajustes para enfrentar as mudanças nos mercados. Em um mercado vendedor, onde a produção é o principal gargalo, a estrutura organizacional está focada em otimizar os resultados com os aumentos da produtividade, com menor ênfase nas mudanças das necessidades do cliente. À medida que a saturação do mercado aumenta, as empresas são forçadas a adotar estratégias de diferenciação de produtos (Brettel et al., 2014). O dilema entre economia de escala e economia de escopo tem sido enfrentado através do conceito de customização em massa (mass customization), que pode ser definida como a produção em massa de bens e serviços que atendam às necessidades específicas de cada cliente individualmente, com custos nos mesmos níveis aos dos produtos não customizados.

Pereira e Romero (2017) trazem que os elementos da Indústria 4.0 mudam a forma que os produtos e serviços são vendidos e oferecidos. As cadeias de valor tornaram-se mais responsivas e uma integração entre produtores e clientes passou a ser requerida, permitindo uma interação maior e uma adaptação aos requisitos do mercado. Contudo, obviamente essa integração geralmente é complexa e pode implicar uma barreira para Indústria 4.0.

### 3.4. Subsistema de Gestão

O subsistema de gestão caracteriza-se como o processo administrativo que se desdobra nas etapas de planejamento, execução e controle das atividades empresariais. Esse subsistema abrange o processo decisório da empresa, de modo a apoiar o alcance dos seus objetivos. O volume de informações disponíveis para a tomada de decisão endereça fortes mudanças nas formas de tomada de decisão com o apoio de

simuladores e da inteligência artificial.

Guerreiro (1989) traz que é através desse sistema que a empresa desempenha suas funções no sentido de atingir o seu objetivo maior, que é o cumprimento de sua missão. A condição básica para o desenvolvimento adequado do processo de planejamento, execução e controle das atividades é o conhecimento da realidade. Logo, um aspecto provável é a transferência da tomada de determinadas decisões dos gestores para as máquinas. O processo de planejamento estratégico e operacional deverá ocorrer com maior frequência e o processo de execução das atividades será fortemente impactado pelas novas características do subsistema operacional.

Toda empresa busca ser eficaz, ou seja, cumprir a sua missão e para isso ela precisa assegurar a sua continuidade, cuja premissa fundamental é a otimização de seu resultado econômico (Catelli, 2001). A geração de resultados econômicos depende de um amplo espectro de variáveis, que em última instância, estão, direta ou indiretamente relacionadas com o atendimento das necessidades dos seus clientes. Nas últimas décadas os gestores das empresas vêm ampliando o nível de consciência no sentido de atender com excelência os seus clientes. Autores clássicos da área de logística integrada e de gestão de cadeia de abastecimento (Lambert & Burduglu, 2000) afirmam que as empresas devem buscar o alcance de três objetivos no atendimento de seus clientes: a mais alta qualidade, o menor custo e o menor *lead time*. Deve ser observado que os referidos objetivos já estavam muito bem consolidados, há muitas décadas, no contexto do denominado Sistema Toyota de Produção (Rüttimann & Stöckli, 2016). A novidade nos tempos atuais diz respeito aos novos meios disponíveis que as empresas têm acesso para se atingir esses objetivos. A mudança tecnológica revolucionária do mundo atual tem proporcionado novos recursos para atingir o antigo e sempre atual objetivo da máxima satisfação dos clientes. As novas possibilidades tecnológicas da Indústria 4.0 contribuem com o atendimento de cada um dos objetivos - alta qualidade, menor custo e rapidez.

Nobre (2011) declara que, no futuro, os humanos estarão menos presentes, não somente no chão de fábrica, como também nas atividades gerenciais, uma vez que máquinas cognitivas tenderão a ocupar posições técnicas e gerenciais nas organizações. Nesse sentido, há a necessidade de parametrização adequada das tarefas gerenciais a fim de que seja possível também automatizá-las. Novamente, entretanto, essa tarefa não é simples e pode acabar constituindo mais uma barreira para a Indústria 4.0.

### 3.5. Subsistema de Informações

O subsistema de informação da empresa caracteriza-se como o conjunto de elementos que objetiva

fundamentalmente gerar informações para apoio à execução das atividades operacionais, bem como às fases de planejamento e controle do subsistema de gestão (Guerreiro, 1989). O desenvolvimento das funções empresariais a um nível mais analítico é formalizado através da execução de uma série de atividades. Dentre essas atividades, estão aquelas que objetivam a manipulação de informações e que comportam o recebimento de dados, o processamento de dados e a geração de informações (Catelli, 2001; Guerreiro, 1989).

Pode-se imaginar que o desenvolvimento dos novos sistemas de informações gerenciais no ambiente da Indústria 4.0 será efetuado a partir da atual base conceitual disponível. Os modelos conceituais hoje existentes na teoria e prática da contabilidade gerencial serão amplificados pelas novas possibilidades tecnológicas. O grau de evolução tecnológica já ocorrida e o seu potencial de evolução no futuro indica que o armazenamento e o processamento de grande volume de informações poderão ser feitos a custos competitivos (relação custo x benefício positiva). A integração de sistemas operacionais como módulos do ERP - *Enterprise Resource Planning*, e dos sistemas operacionais com os sistemas gerenciais e BI - *Business Intelligence*, estará sendo cada vez mais facilitada. Deverá ser cada vez mais comum a incorporação de sistemas de simulação geradores de informações para escolha de alternativas no processo de tomada de decisões operacionais e econômicas.

A geração de informações operacionais e gerenciais sobre os diversos objetos de gestão será muito facilitada. A integração entre os módulos dos sistemas de informações de apoio à gestão – orçamento, simulações, apuração de resultados realizados, análise de variações deverá gerar informações de forma automática. Tendo em vista o grau de avanço tecnológico é possível afirmar que a grande restrição na concepção e implantação de sistemas de informações eficazes (operacionais e gerenciais) é o modelo mental dos gestores e dos técnicos responsáveis pela modelagem conceitual de novas soluções.

Lu (2017) defende que a integração das tecnologias de informação e de comunicação em componentes de produção é capaz de gerar uma quantidade massiva de dados. No entanto, o autor assegura que o desenvolvimento de algoritmos para lidar com os dados tende a ser um dos principais desafios da Indústria 4.0. A falta de habilidade para desenvolver esses algoritmos, pode, portanto, constituir barreiras para a indústria 4.0.

### 3.6. Subsistema Operacional

O subsistema operacional pode ser caracterizado como o *hardware* da empresa, composto de todos os elementos concretos da empresa, com exceção das pessoas, e também incorporando diversos elementos intangíveis.

O subsistema operacional se caracteriza como uma plataforma onde ocorrem os processos e atividades empresariais. Os processos e atividades se originam do dinamismo e interação entre todos os subsistemas. No estágio atual estágio de desenvolvimento da Indústria 4.0, observa-se que este subsistema está sendo fortemente impactado pelo volume e caráter inovador dos novos recursos tecnológicos à disposição das empresas, conforme abordado em seção precedente deste trabalho.

A nova plataforma física/operacional/informacional da Indústria 4.0 disponibiliza um amplo espectro de novos recursos conceituais e tecnológicos para a execução de processos operacionais da empresa desde a concepção de novos produtos, passando pelos processos de abastecimento, produção e comercialização e geração de serviços de apoio. Em função das novas características tecnológicas disponíveis, a inovação de processos de manufatura deverá ocorrer a grande velocidade nas empresas.

Lasi et al. (2014) mencionam que essa nova indústria pode ser definida por dois movimentos. Por um lado, existe o potencial de grande volume de novas aplicações (*application-pull*) que puxam ou atraem a necessidade de grandes mudanças tecnológicas na indústria, e que são derivadas das atuais condições sociais, políticas e econômicas. Por outro lado, existe um excepcional desenvolvimento tecnológico (*technology-push*) na prática industrial que empurra ou impulsiona a prática de novos negócios. Numa perspectiva do futuro da produção, pode-se observar sistemas de fabricação modulares e eficientes, sendo possível visualizar cenários onde o produto controla seu próprio processo de fabricação. Visualiza-se a fabricação de produtos individuais em lotes de uma única unidade, enquanto as condições econômicas da produção em massa continuam a ser mantidas (Lasi et al., 2014). A crescente demanda por produtos personalizados em combinação com a diminuição dos ciclos de vida dos produtos endereça transformações nas estruturas organizacionais para que as empresas possam lidar com o aumento da complexidade do ambiente.

Na Indústria 4.0, os produtos, os diferentes stakeholders, como clientes, empregados e fornecedores e os equipamentos de produção estão em constante interação numa rede virtual que troca dados nas diferentes fases do ciclo de vida do produto. Esse ciclo de vida abrange o desenvolvimento do produto, a engenharia do sistema de produção e a produção propriamente do produto (Stock & Seliger, 2016) e demanda habilidades e investimentos para serem concretizados, que em sua ausência podem constituir barreiras à Indústria 4.0.

### 3.7. Síntese dos Impactos

A Figura 1 ilustra os principais pontos observados de interlocução entre os conceitos e tecnologias associados

à Indústria 4.0 e os subsistemas organizacionais, sintetizando os principais elementos de cada subsistema que serão afetados pelas mudanças em curso.

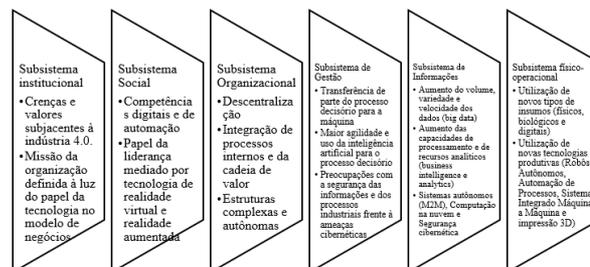


Figura 1. Pontos de interlocução entre a Indústria 4.0 e os subsistemas organizacionais  
Fonte: Elaborada pelos autores

No que diz respeito ao subsistema institucional, as crenças e valores deverão ser fortemente impactadas pela revolução em curso. Em primeiro lugar, destaca-se a importância da tomada de consciência, de que essa revolução é algo impactante e que veio para ficar. Essa tomada de consciência pelos proprietários e dirigentes das empresas não é algo trivial, principalmente no ambiente de pequenas e médias empresas. Novos valores sobre a importância estratégica da nova base de tecnologia e dos novos conceitos de gestão, deverão ser assumidos pelos dirigentes. Os velhos hábitos do tipo, “em time que está ganhando não se mexe” deverão ser repensados. Nesse contexto muitas organizações necessitarão ajustar suas missões e visões e também modificar os seus modelos de negócio. Provavelmente as empresas que não adotarem novas crenças e valores ficarão pelo caminho.

As pessoas que compõem o subsistema social das empresas serão fortemente impactadas. O novo ambiente industrial demandará novas competências para que as pessoas possam lidar com as tecnologias digitais contemporâneas e com os processos de automação que estão sendo implementados. É provável que as antigas habilidades e criatividade pessoais percam o seu valor relativo no ambiente em que máquinas comandam processos. Destaca-se, portanto, a necessidade de desenvolvimento de competências digitais e de automação, assim como o papel da liderança deverá ser repensado no contexto de trabalho remoto, híbrido e com o uso de tecnologias de realidade virtual e aumentada.

No que diz respeito ao subsistema organizacional vários elementos deverão ser impactados. O volume de pessoas a serem gerenciadas deverá ser muito menor e o ambiente de produção será permeado, em maior grau, por estruturas complexas e autônomas formando processos e cadeia de valor integrados. Nesse contexto, a amplitude de controle, bem como a descentralização serão totalmente modificadas. As orientações em termos

de políticas e procedimentos a serem observados estarão contidas na inteligência dos equipamentos autônomos, sendo cada vez mais comuns estruturas organizacionais complexas, horizontalizadas e autônomas.

Um aspecto muito relevante em termos do subsistema de gestão, é a transferência de muitas decisões para as máquinas. A integração da *internet* das coisas com *big data*, inteligência artificial e outros conceitos, deverá produzir um volume muito grande de informações. Equipamentos deverão tratar os dados e gerar informações. Um grande volume de decisões, principalmente nos níveis mais operacionais será tomado pelas máquinas. A velocidade na tomada dessas decisões será muito maior do que atualmente e as decisões serão mais assertivas. Um aspecto novo em termos de gestão diz respeito à segurança da informação contra ameaças cibernéticas. Pesquisas recentes demonstram o impacto dessas tecnologias na função financeira (Oesterreich et al., 2019; Oesterreich & Teuteberg, 2019).

Os subsistemas de informações deverão ter novas configurações em função das novas possibilidades tecnológicas que propiciam maior velocidade de processamento e maior capacidade de armazenamento (Oesterreich & Teuteberg, 2018). Os atuais sistemas ERP deverão adotar novos níveis de integração tanto na dimensão gerencial como na dimensão operacional. Na dimensão gerencial, os sistemas ERP deverão alimentar e se integrar com as novas estruturas de sistemas do tipo BI. Na dimensão operacional os sistemas ERP deverão se conectar com os sistemas operativos autônomos, coletando automaticamente as informações no seu nível mais analítico no momento em que as operações ocorrem. Sistemas autônomos, estruturados na concepção M2M, deverão prevalecer.

Finalmente, o subsistema físico-operacional deverá ser completamente remodelado no ambiente 4.0 das empresas industriais, permeado pelo conjunto das novas tecnologias. Novos insumos físicos, biológicos e digitais, novas formas de obtenção e recebimento dos insumos e novos processos de produção autônomos e integrados, suportados por métodos mais eficientes de controle de qualidade, darão suporte a processos inovadores de atendimento aos clientes, propiciando maior qualidade, menor custo e maior flexibilidade e rapidez, dentro da estratégia de *mass customization*.

## 4. Considerações Finais

A Indústria 4.0 é algo em processo de evolução, podendo ser observado que, fora dos países sob influência da língua alemã a terminologia Indústria 4.0 é pouco conhecida (Lasi et al., 2014). Nesse sentido é importante a observação de Pfeiffer (2017) de que não existe uma única Indústria 4.0. Quais inovações serão adaptadas em cada região do mundo e por quais empresas depende

de configurações específicas induzidas por diversos fatores, tais como, o grau de automação, complexidade do produto, cadeias de valor e tecnologia de produção e por diversos atores, tais como governos, institutos de pesquisas, consultorias e outras entidades.

É possível observar nos diversos estudos que a caracterização da Indústria 4.0 é feita a partir da descrição de elementos da base tecnológica disponível atualmente nas empresas, considerando ainda potenciais desenvolvimentos tecnológicos futuros. O que já existe de concreto é significativo, mas, apenas uma pequena amostra do imenso potencial de desenvolvimento tecnológico e empresarial previsto para tempos vindouros.

Este trabalho, fundamentado na revisão de literatura sobre a evolução tecnológica atual, é por um lado de cunho descritivo, à medida que relata o estado da arte da Indústria 4.0, e ao mesmo tempo, apresenta aspecto preditivo à medida que busca elaborar reflexões sobre os potenciais impactos negociais da Indústria 4.0, e especificamente, os impactos nos subsistemas das empresas industriais.

Assim, esta pesquisa desdobrou o sistema empresa em seus seis subsistemas: subsistema institucional, subsistema social, subsistema organizacional, subsistema de gestão, subsistema de informação e subsistema operacional. Os impactos da Indústria 4.0 nesses sistemas e potenciais barreiras existentes em cada um deles, foram trazidas e discutidas, tendo como parâmetros de análise, a revisão e discussão da literatura prévia.

Espera-se, portanto, que este trabalho ofereça contribuições teóricas, ao adicionar elementos na discussão da Indústria 4.0 que está em curso. Na perspectiva acadêmica, a principal contribuição desta pesquisa é proporcionar uma plataforma conceitual informativa sobre a Indústria 4.0, e uma visão dos potenciais impactos no ambiente interno das empresas, de forma a auxiliar o desenvolvimento de pesquisas empíricas futuras sobre o assunto.

## Referências

- Addo-Tenkorang, R., & Helo, P. T. (2016). Big data applications in operations/supply-chain management: A literature review. *Computers and Industrial Engineering*, 101, 528-543. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.09.023>
- Arnold, C., Kiel, D., & Voigt, K. I. (2016). How the industrial internet of things changes business models in different manufacturing industries. *International Journal of Innovation Management*, 20(08), 1640015. <https://doi.org/10.1142/S1363919616400156>
- Bader, V., & Kaiser, S. (2019). Algorithmic decision-making? The user interface and its role for human

- involvement in decisions supported by artificial intelligence. *Organization*, 26(5), 655-672. <https://doi.org/10.1177/1350508419855714>.
- Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., & Rosenberg, M. (2014). How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective. *International Journal of Information and Communication Engineering*, 8(1), 37-44. Retrieved from: <https://picture.iczhiku.com/resource/paper/WyIStjhdhauGDMvc.pdf>
- Buñ, P., Grajewski, D., & Górski, F. (2021). Using augmented reality devices for remote support in manufacturing: A case study and analysis. *Advances in Production Engineering and Management*, 16(4), 418-430. <https://doi.org/10.14743/APEM2021.4.410>
- Catelli, A. (2001). *Controladoria: uma abordagem da gestão econômica* – GECON. 2ª ed. São Paulo: Altas.
- Cimini, C., Pinto, R., & Cavalieri, S. (2017). The business transformation towards smart manufacturing: a literature overview about reference models and research agenda. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 14952-14957. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.2548>
- CNI - Confederação Nacional da Indústria. (2016). *Desafios para indústria 4.0 no Brasil*. Conselho Temático Permanente de Política Industrial e Desenvolvimento Tecnológico-COPIN- Brasília, Brasil.
- Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204, 383-394. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019>
- Du Chenne, S. (2019). Industry 4.0—fight or flight for accounting professionals?. *Professional Accountant*, 2019(35), 6-7. Retrieved from: <https://hdl.handle.net/10520/EJC-16a30b012f>
- Emery, F. E. & Trist, E. L. (1960). *Sociotechnical systems*. In C. W. Churchman and M. Verhulst (Eds.), *Management science: models and techniques*, v. 2. Oxford: Pergamon.
- Gažová, A., Papulová, Z., & Smolka, D. (2022). Effect of business process management on level of automation and technologies connected to industry 4.0. *Procedia Computer Science*, 200, 1498-1507. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.351>
- Guerreiro, R. (1989). *Modelo conceitual de sistema de informação de gestão econômica: uma contribuição à teoria da comunicação da contabilidade*. Tese de Doutorado (Contabilidade), Universidade de São Paulo.
- Guerreiro, R. (1999). *A meta da empresa – seu alcance sem mistérios*. São Paulo: Atlas.
- Iansiti, M., & Lakhani K. R. (2014). Digital ubiquity: how connections, sensors, and data are revolutionizing business. *Harvard Business Review*, 92(11), 90–99. Retrieved from: <https://hbr.org/2014/11/digital-ubiquity-how-connections-sensors-and-data-are-revolutionizing-business>
- Kagermann, H. (2015). *Change through digitization—Value creation in the age of Industry 4.0*. In Albach, H., Meffert, H., Pinkwart, A., Reichwald, R. (eds.). *Management of Permanent Change*. Springer Gabler: Wiesbaden.
- Lambert, D. M., & Burduroglu, R. (2000). Measuring and selling the value of logistics. *The International Journal of Logistics Management*, 11(1), 1-18. <https://doi.org/10.1108/09574090010806038>
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business and Information Systems Engineering*, 6(4), 239-242.
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
- Malik, N., Tripathi, S. N., Kar, A. K., & Gupta, S. (2021). Impact of artificial intelligence on employees working in industry 4.0 led organizations. *International Journal of Manpower*, 43(2), 334-354.
- Manavalan, E., & Jayakrishna, K. (2019). A review of internet of things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. *Computers and Industrial Engineering*, 127, 925-953. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.030>
- Mele, C., Pels, J., & Polese, F. (2010). A brief review of systems theories and their managerial applications. *Service Science*, 2(1-2), 126-135. [https://doi.org/10.1287/serv.2.1\\_2.126](https://doi.org/10.1287/serv.2.1_2.126)
- Mon, A., & Giorgio, H. R. D. (2022). Analysis of industry 4.0 products in small and medium enterprises. *Procedia Computer Science*, 200, 914-923. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.289>
- Mujiono, M. N. (2021). The shifting role of accountants in the era of digital disruption. *International Journal of Multidisciplinary: Applied Business and Education Research*, 2(11), 1259-1274. <https://doi.org/10.11594/10.11594/ijmaber.02.11.18>
- Müller, J. M., & Birkel, H. S. (2020). Contributions of

- industry 4.0 to lean management within the supply chain operations reference model. *International Journal of Integrated Supply Management*, 13(1), 74-89. <https://doi.org/10.1504/IJISM.2020.107781>
- Müller, J. M., Buliga, O., & Voigt, K. I. (2018). Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. *Technological Forecasting & Social Change*, 132, 2-17. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.12.019>
- Nobre, F. S. (2011). Core competencies of the new industrial organization. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 22(4), 422-443. <https://doi.org/10.1108/17410381111126391>
- Nosalska, K., Piatek, Z. M., Mazurek, G., & Rządca, R. (2020). Industry 4.0: coherent definition framework with technological and organizational interdependencies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(5), 837-862. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2018-0238>
- Oesterreich, T. D., & Teuteberg, F. (2019). The role of business analytics in the controllers and management accountants' competence profiles: An exploratory study on individual-level data. *Journal of accounting & organizational change*, 15(2), 330-356. <https://doi.org/10.1108/JAOC-10-2018-0097>
- Oesterreich, T. D., & Teuteberg, F. (2018). Looking at the big picture of IS investment appraisal through the lens of systems theory: A system dynamics approach for understanding the economic impact of BIM. *Computers in Industry*, 99, 262-281. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.03.029>
- Oesterreich, T. D., Teuteberg, F., Bensberg, F., & Buscher, G. (2019). The controlling profession in the digital age: Understanding the impact of digitization on the controller's job roles, skills and competences. *International journal of accounting information systems*, 35(C). <https://doi.org/10.1016/j.accinf.2019.100432>
- Oesterreich, T. D., & Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: a triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in Industry*, 83, 121-139. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>
- Ortt, R., Stolwijk, C., & Punter, M. (2020). Implementing Industry 4.0: assessing the current state. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(5), 825-836. <https://doi.org/10.1108/JMTM-07-2020-0284>
- Patel, K. K., Patel, S. M., & Scholar, P. (2016). Internet of things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges. *International journal of engineering science and computing*, 6(5). <https://doi.org/10.4010/2016.1482>
- Pereira, A. C., & Romero, F. (2017). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 13, 1206-1214. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032>
- Pfeiffer, S. (2017). The vision of "Industrie 4.0" in the making - a case of future told, tamed, and traded. *Nanoethics*, 11, 107-121. <https://doi.org/10.1007/s11569-016-0280-3>
- Porter M. E., & Heppelmann J. E. (2014). How smart, connected products are transforming competition. *Harvard Business Review*, 92(11), 64-88. Retrieved from: <https://hbr.org/2014/11/how-smart-connected-products-are-transforming-competition>
- Reginato, L., & Guerreiro, R. (2011). Um estudo sobre a associação entre o modelo de gestão e controles gerenciais em indústrias brasileiras. *Revista Universo Contábil*, 7(2), 6-27. <http://dx.doi.org/10.4270/ruc.20117>
- Roblek, V., Meško, M., & Krapež, A. (2016). A complex view of industry 4.0. *Sage open*, 6(2), 2158244016653987. <https://doi.org/10.1177/2158244016653987>
- Rüttimann, B. G., & Stöckli, M. T. (2016). Lean and Industry 4.0—twins, partners, or contenders? A due clarification regarding the supposed clash of two production systems. *Journal of Service Science and Management*, 9(6), 485-500. <http://dx.doi.org/10.4236/jssm.2016.96051>
- Sanchez, M., Exposito, E., & Aguilar, J. (2020). Industry 4.0: survey from a system integration perspective. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 33(10-11), 1017-1041. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2020.1775295>
- Schneider, P. (2018). Managerial challenges of Industry 4.0: an empirically backed research agenda for a nascent field. *Review of Managerial Science*, 12, 803-848. <https://doi.org/10.1007/s11846-018-0283-2>
- Schwab, Klaus (2016). *A quarta revolução industrial*: São Paulo: Edipro.
- Shendge, A. B. (2021). Interne of things (IoT): An overview on research challenges and future applications. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*. <https://doi.org/10.33564/ijeast.2021.v06i08.011>
- Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. *Procedia CIRP*, 40, 536-541. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.129>
- Von Bertalanffy, L. (1968). *General system theory: Foundations, development, applications*. New York: George Braziller.