

**UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**IMPACTOS DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NA**  
**SUPPLY CHAIN**

**AUTOR: FELIPE DE CAMPOS MARTINS**

**ORIENTADOR: PROF. DR. ALEXANDRE TADEU SIMON**

SANTA BÁRBARA D'OESTE

2019

**UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**IMPACTOS DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NA**  
**SUPPLY CHAIN**

**AUTOR: FELIPE DE CAMPOS MARTINS**

**ORIENTADOR: PROF. DR. ALEXANDRE TADEU SIMON**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção.

SANTA BÁRBARA D'OESTE

2019



# **IMPACTOS DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NA SUPPLY CHAIN**

**FELIPE DE CAMPOS MARTINS**

Dissertação de Mestrado Defendida em 28 de Agosto de 2019, avaliado e aprovado pela Banca Examinadora constituída pelos Professores:

Prof. Dr. Alexandre Tadeu Simon (Presidente e Orientador)

(UNIMEP – Universidade Metodista de Piracicaba)

Prof. Dr. André Luís Helleno

(UNIMEP – Universidade Metodista de Piracicaba)

Profa. Dra. Juliana Veiga Mendes

(UFSCAR – Universidade Federal de São Carlos)

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, à Deus, por toda a força e saúde concedida a mim para que este e todos os demais desafios e objetivos de minha vida fossem alcançados.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Alexandre Tadeu Simon, por todo conhecimento, dedicação e incentivo dado ao longo de toda a minha trajetória acadêmica.

Aos meus pais, pela educação, caráter, amor e exemplo dado desde sempre; e ao meu irmão, sempre presente nos momentos fáceis e difíceis aos quais passei.

À minha namorada por todo amor e confiança a mim depositado; e à sua família, por me acolherem como filho.

À coordenação, secretaria e professores do programa de pós-graduação em engenharia de produção da UNIMEP-SBO, por me instruírem, ensinarem e ajudarem durante todo meu tempo como mestrando.

Aos demais amigos e familiares, pelos votos de confiança e por entenderem minha ausência durante esse período.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pelo apoio financeiro dado na realização deste trabalho (Código de Financiamento 001).

MARTINS, Felipe de Campos. **Impactos das tecnologias da Indústria 4.0 na Supply Chain**, 2019. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP, Santa Bárbara d'Oeste, SP.

## RESUMO

A Indústria 4.0, resultado da integração de tecnologias como Internet das Coisas, Sistemas Físico-Cibernéticos e Computação em Nuvem, entre outras, surge para conectar o mundo físico ao mundo virtual. Essa revolução impacta todas as funções das empresas – dentre elas, a *Supply Chain*, cuja complexidade vem aumentando, impondo diversos desafios às empresas. Uma das formas de se enfrentar esses desafios é integrar as tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain*. Essa integração causa impactos na *Supply Chain* ainda não esclarecidos e explorados. O objetivo deste trabalho é identificar e analisar os benefícios e desafios que as tecnologias da Indústria 4.0 causam na *Supply Chain* e captar a percepção das empresas com relação aos mesmos. Por meio de revisões sistemáticas da literatura, foram identificados vinte benefícios e vinte desafios. Observa-se que o ganho de eficiência nas atividades da *Supply Chain* é o benefício mais citado na literatura, com mais de 80%. Demais benefícios foram apontados por menos de 50% dos trabalhos. Já em relação aos desafios, o mais citado é a segurança e privacidade, com mais de 70%. Os outros desafios identificados apresentaram percentuais abaixo dos 20%. O estudo de campo realizado para captar as percepções das empresas em relação a esses benefícios e desafios indica uma convergência com a literatura, ou seja, evidencia que os benefícios e desafios mais relevantes são abordados tanto na prática quanto na teoria. Este trabalho também contribui com a teoria sobre *Supply Chain*, pois identifica e apresenta de forma sistematizada os benefícios e desafios decorrentes do uso das tecnologias da Indústria 4.0 na SC.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Supply Chain*; Indústria 4.0; *Supply Chain* 4.0.

MARTINS, Felipe de Campos. **Impacts of Industry 4.0 technologies in the Supply Chain**, 2019. 137 pp. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP, Santa Bárbara d'Oeste, SP.

### **ABSTRACT**

Industry 4.0, resulting from the integration of technologies such as Internet of Things, Cyber-Physical Systems and Cloud Computing, among others, emerges to connect the physical world to the virtual world. This revolution impacts all the companies' functions – among them, the Supply Chain, whose complexity is increasing, imposing several challenges to companies. One of the ways to address these challenges is to integrate Industry 4.0 technologies into the Supply Chain. This integration causes impacts on the supply chain not yet clarified and explored. The objective of this work is to identify and analyze the benefits and challenges that Industry 4.0 technologies cause in the supply chain and to capture companies' perception of them. Through systematic literature reviews, twenty benefits and twenty challenges were identified. It is observed that the efficiency gain in Supply Chain activities is the most cited benefit in the literature, with more than 80%. Other benefits were pointed out by less than 50% of the works. Regarding to the challenges, the most cited is security and privacy, with over 70%. The other challenges identified presented percentages below 20%. The case study to capture companies' perceptions of these benefits and challenges points to a convergence with the literature, showing that the most relevant benefits and challenges are addressed in both practice and theory. This work also contributes to the Supply Chain theory as it identifies and systematizes the benefits and challenges arising from the use of Industry 4.0 technologies in the SC.

**KEYWORDS:** Supply Chain; Industry 4.0; Supply Chain 4.0.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>XI</b>
<b>LISTA DE QUADROS .....</b>	<b>XII</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>XIII</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1.2. OBJETIVO DO TRABALHO.....	4
1.3. DELIMITAÇÃO DO TRABALHO .....	5
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	5
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>7</b>
2.1. <i>SUPPLY CHAIN</i> .....	7
2.2. INDÚSTRIA 4.0.....	12
2.3. <i>SUPPLY CHAIN</i> E AS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 .....	21
2.4. OUTRAS TECNOLOGIAS UTILIZADAS NA <i>SUPPLY CHAIN</i> .....	30
<b>3. MÉTODO DE PESQUISA.....</b>	<b>32</b>
3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	32
3.2. ETAPAS DA ABORDAGEM METODOLÓGICA .....	33
3.2.1. ETAPA 1: REVISÃO DOS CONCEITOS TEÓRICOS.....	34
3.2.2. ETAPA 2: IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS E DESAFIOS DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NA <i>SUPPLY CHAIN</i> .....	34
3.2.3. ETAPA 3: IDENTIFICAÇÃO DOS BENEFÍCIOS E DESAFIOS PERCEBIDOS PELAS EMPRESAS AO IMPLANTAR AS TECNOLOGIAS ASSOCIADAS À INDÚSTRIA 4.0 NA <i>SUPPLY CHAIN</i> .....	41
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>45</b>
4.1. CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO.....	45
4.2. IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS E DESAFIOS DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NA <i>SUPPLY CHAIN</i> .....	45
4.2.1. BENEFÍCIOS DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NA <i>SUPPLY CHAIN</i> .....	46

4.2.2. DESAFIOS DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NA <i>SUPPLY CHAIN</i> .....	62
4.3. IDENTIFICAÇÃO DOS BENEFÍCIOS E DESAFIOS PERCEBIDOS PELAS EMPRESAS AO IMPLANTAR AS TECNOLOGIAS ASSOCIADAS À INDÚSTRIA 4.0 NA <i>SUPPLY CHAIN</i> .....	83
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>93</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>95</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>118</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processos básicos da <i>Supply Chain</i> .....	9
Figura 2: Representação de uma <i>Supply Chain</i> .....	10
Figura 3: Representação de uma <i>Supply Chain</i> intraorganizacional.....	11
Figura 4: Estágios para o desenvolvimento da Indústria 4.0.....	14
Figura 5: Tecnologias da Indústria 4.0 .....	16
Figura 6: Características da <i>Supply Chain</i> 4.0 .....	22
Figura 7: Inovações do contexto 4.0 na <i>Supply Chain</i> .....	24
Figura 8: Processos chave da <i>Supply Chain</i> 4.0.....	25
Figura 9: Modelo para o desenvolvimento da <i>Supply Chain</i> 4.0 .....	29
Figura 10: Classificação da pesquisa.....	33
Figura 11: Etapas da abordagem metodológica.....	34
Figura 12: Etapas do processo de revisão sistemática da literatura .....	35
Figura 13: Processo de revisão sistemática da literatura dos benefícios das tecnologias da Indústria 4.0 na <i>Supply Chain</i> .....	36
Figura 14: Filtros utilizados para a análise dos trabalhos selecionados.....	37
Figura 15: Processo de revisão sistemática da literatura dos desafios das tecnologias da Indústria 4.0 na <i>Supply Chain</i> .....	40
Figura 16: Subetapas da Etapa 3.....	42
Figura 17: Classificação dos benefícios da <i>Supply Chain</i> 4.0.....	52
Figura 18: Classificação dos desafios da <i>Supply Chain</i> 4.0.....	68
Figura 19: Quantidade de empresas que aplicam as tecnologias inseridas no contexto da indústria tradicional e da Indústria 4.0 .....	85

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quantidade de trabalhos obtidos em cada busca realizada nas bases de dados .....	38
Tabela 2: Resultados das etapas do processo de revisão sistemática da literatura .....	39
Tabela 3: Quantidade de trabalhos obtidos em cada busca realizada nas bases de dados .....	41
Tabela 4: Resultados das etapas do processo de revisão sistemática da literatura .....	41
Tabela 5: Quantidade de trabalhos publicados por ano que apresentam os benefícios das tecnologias da Indústria 4.0 na Supply Chain .....	46
Tabela 6: Quantidade de trabalhos publicados por ano que apresentam os desafios das tecnologias da Indústria 4.0 na Supply Chain .....	66
Tabela 7: Benefícios das tecnologias da indústria tradicional percebidas pelas empresas que as utilizam .....	88
Tabela 8: Benefícios das tecnologias da Indústria 4.0 percebidas pelas empresas que as utilizam .....	89
Tabela 9: Desafios das tecnologias da indústria tradicional percebidas pelas empresas que as utilizam .....	91
Tabela 10: Desafios das tecnologias da Indústria 4.0 percebidas pelas empresas que as utilizam .....	92

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Tecnologias com aplicações na <i>Supply Chain</i> .....	43
Quadro 2: Benefícios da implantação das tecnologias da Indústria 4.0 na <i>Supply Chain</i> .....	48
Quadro 3: Percentual de citações dos benefícios identificados na literatura ...	51
Quadro 4: Síntese dos benefícios da Internet das Coisas na <i>Supply Chain</i> ....	57
Quadro 5: Síntese dos benefícios do Big Data na <i>Supply Chain</i> .....	60
Quadro 6: Desafios da implantação das tecnologias da Indústria 4.0 na <i>Supply Chain</i> .....	63
Quadro 7: Percentual de citações dos desafios identificados na literatura .....	66
Quadro 8: Síntese dos desafios estratégicos do uso das tecnologias da Indústria 4.0 na <i>Supply Chain</i> .....	69
Quadro 9: Síntese dos desafios gerenciais do uso das tecnologias da Indústria 4.0 na <i>Supply Chain</i> .....	72
Quadro 10: Síntese dos desafios operacionais do uso das tecnologias da Indústria 4.0 na <i>Supply Chain</i> .....	75
Quadro 11: Síntese da literatura identificada sobre segurança e privacidade das tecnologias da Indústria 4.0 na <i>Supply Chain</i> .....	78
Quadro 12: Empresas participantes do estudo de campo .....	83
Quadro 13: Cargo e tempo de atuação dos respondentes .....	84

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AGV* – *Automatic Guided Vehicles*
- B2C* – *Business to Consumer*
- CPS* – *Cyber Physical-Systems*
- CC* – *Cloud Computing*
- CRM* – *Customer Relationship Management*
- DSC* – *Digital Supply Chain*
- EDI* – *Electronic Data Interchange*
- ERP* – *Enterprise Resource Planning*
- I4.0 – Indústria 4.0
- ICT* – *Information and communications technology*
- IoT* – *Internet of Things*
- MES* – *Manufacturing Execution System*
- RFID* – *Radio Frequency Identification*
- SC* – *Supply Chain*
- SC4* – *Supply Chain 4.0*
- TI – Tecnologia da Informação.
- PDM* – *Product Data Management*
- CAX* – *Computer Aided Technologies*
- QMS* – *Quality Management System*
- PLM* – *Product Lifecycle Management*
- WMS* – *Warehouse Management System*

## 1. INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a contextualização do trabalho, o problema de pesquisa, o objetivo, a justificativa, as delimitações e a estrutura geral da dissertação.

### 1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Novas tecnologias, métodos de organização industrial e sistemas de produção têm sido desenvolvidos para fortalecer a competitividade das empresas. Tais transformações na produção sempre objetivaram o melhor atendimento às necessidades de clientes, bem como a melhoria da qualidade dos produtos e a redução de custos, perdas e tempo de fabricação (CHASE *et al.*, 2004).

Hoje, observa-se o surgimento da quarta revolução industrial como resultado da forte integração de tecnologias de informação e comunicação para conectar o mundo físico ao mundo virtual. Tal revolução é apontada como resultado de esforços da Comissão Europeia, com o objetivo de retomar a competitividade das empresas locais, especialmente em aspectos que se referem à qualidade e custos de produção (KAGERMANN *et al.*, 2013; DAVIES, 2015).

Em essência, essa revolução envolve a integração de tecnologias como Sistemas Físico-Cibernéticos, Internet das Coisas e dos Serviços e Computação em Nuvem (KAGERMANN *et al.*, 2013), bem como demais ferramentas e sistemas da indústria tradicional – dentre elas, VDE (2014) cita *Enterprise Resource Planning* (ERP), *Manufacturing Execution System* (MES), *Customer Relationship Management* (CRM), *Product Data Management* (PDM), *Computer Aided Technologies* (CAx), Simulação, *Quality Management System* (QMS) e *Product Lifecycle Management* (PLM).

Dessa forma, torna-se possível criar uma integração digital tanto horizontal, entre membros da cadeia de suprimentos, quanto vertical dessa rede com os sistemas de manufatura. Conhecida como Indústria 4.0, ela permite a mudança de um modelo de produção centralizado para um descentralizado (SCHUH *et al.*, 2017), trazendo mudanças em todas as funções da empresa para melhor integrar seus benefícios (ANDERL *et al.*, 2015; SCHRAUF e BERTTRAM, 2016). Por exemplo, a produção, por meio da otimização de seus processos; a manutenção, garantindo melhor programação para manutenções preditivas e, conseqüentemente, reduzindo o tempo de paradas não programadas e; na gestão dos clientes, melhorando a interação e experiência para com os mesmos e integrando os canais de vendas.

Dentre as áreas impactadas pelas tecnologias da Indústria 4.0 e no centro de todas as atividades da empresa está a *Supply Chain* (SCHRAUF e BERTTRAM, 2016), rede de organizações envolvidas nos diferentes processos e atividades que produzem valor sob a forma de produtos e serviços ao cliente final (CHRISTOPHER e RYALS, 1999). Caracterizada por suas distintas funções fragmentadas na década de 1960, seu conceito vem evoluindo ao longo das décadas e funções vêm sendo integradas em uma rede de fluxos constantes de materiais, informações e recursos entre clientes e fornecedores (BAILEY *et al.*, 2016).

Área de grande importância no que diz respeito à coordenação das atividades intraorganizacionais das empresas, bem como entre seus clientes e fornecedores (SCHRAUF e BERTTRAM, 2016), a *Supply Chain* vem apresentando constante aumento na sua complexidade, levando as empresas a enfrentar diversos desafios (FORE *et al.*, 2016). Dentre eles, citem-se a redução nos custos de operação e de inventário, a redução nos riscos das operações, a melhoria do atendimento ao cliente, o aumento da visibilidade, a globalização e a velocidade de entrega do produto (SINGH *et al.* 2017). Somem-se a estes a redução do ciclo de vida de produtos, o aumento da customização e as interrupções de fornecimento de suprimentos (IVANOV *et al.*, 2018).

Para Büyüközkan e Göçer (2017b), uma das formas de se enfrentar esses desafios é por meio da digitalização das atividades da *Supply Chain*, permitindo o aumento no desempenho das empresas no que se refere a tempo, dinheiro e uso de recursos. Denominada de *Supply Chain 4.0*, operações tradicionalmente isoladas e dispersas são realizadas dentro de uma rede inteligente, integrada, automatizada e otimizada (RODRIGUEZ *et al.*, 2018), conectando máquinas, pessoas, produtos e demais recursos, bem como clientes e fornecedores. Essa conexão entre todos os elementos da cadeia de suprimentos viabiliza a troca de informação com maior velocidade e qualidade (WU *et al.*, 2016), possibilitando que problemas como excesso ou falta de materiais em estoques, atrasos nas entregas e, conseqüentemente, o efeito chicote, sejam eliminados. Isso permite às empresas um melhor atendimento aos seus clientes e, assim, a obtenção de vantagem competitiva (WONG *et al.*, 2012).

Ao conectar todos os recursos da *Supply Chain*, a troca de informações ocorre em tempo real, tornando a tomada de decisão mais eficaz (MACAULAY *et al.*, 2015). Diferente do método tradicional, em que as tomadas de decisão eram feitas a partir de informações isoladas da cadeia de suprimentos, na *Supply Chain 4.0* as decisões são feitas baseadas no uso de todas as informações nela disponíveis (IVANOV e SOKOLOV, 2012).

Observa-se, então, que a colaboração entre clientes e fornecedores também é indispensável para o sucesso da *Supply Chain 4.0*. Integrar processos e tornar as informações transparentes ao longo da cadeia de suprimentos possibilita às empresas empregarem ações de maneira colaborativa, propiciando melhor atendimento às necessidades dos clientes (SCHRAUF e BERTTRAM, 2016).

Rußmann *et al.* (2015) e Davies (2015) apontam que a conexão entre os mundos físico e digital abre possibilidades às empresas para aumentar a flexibilidade, produtividade e qualidade, bem como o envolvimento com os clientes e fornecedores, possibilitando a otimização de seus processos de negócio.

No entanto, se por um lado a digitalização das atividades confere benefícios às empresas, também são identificados desafios que as empresas deverão enfrentar, como riscos quanto a segurança no que se refere à divulgação não autorizada e ao vazamento de dados e informações (BHARGAVA *et al.*, 2013), a confiabilidade e interoperabilidade dos sistemas (DWEKAT *et al.*, 2017) e a complexidade e compatibilidade para gerenciar e integrar diferentes sistemas (MACHADO e SHAH, 2016); dentre outros.

Por se tratar de um tema novo e que vem ganhando cada vez mais atenção, tanto por parte da indústria quanto da academia (BÜYÜKÖZKAN e GÖÇER, 2017b), observa-se que ainda não estão totalmente claros e identificados os reais impactos das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain* (TJAHJONO *et al.*, 2017), sejam eles positivos ou negativos. Assim, a pergunta de pesquisa que aqui se apresenta é:

- Quais são os benefícios e desafios que as tecnologias da Indústria 4.0 trazem para a *Supply Chain*?

## 1.2. OBJETIVO DO TRABALHO

Tendo em vista as considerações apresentadas, o objetivo deste trabalho é identificar e analisar os benefícios e desafios que as tecnologias da Indústria 4.0 causam na *Supply Chain* e captar a percepção das empresas com relação a esses benefícios e desafios. Para que seja possível alcançar esses objetivos, propõem-se os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar os conceitos de *Supply Chain*;
- Caracterizar os conceitos da Indústria 4.0 e suas tecnologias;
- Caracterizar os conceitos de *Supply Chain* 4.0 e;
- Desenvolver um estudo de campo.

Espera-se que este trabalho forneça um melhor entendimento sobre os reais impactos que as tecnologias da Indústria 4.0 estão trazendo para a *Supply*

*Chain*, bem como forneça informações que permitam o desenvolvimento de novos estudos e, assim, contribuir para com a evolução do tema.

### **1.3. DELIMITAÇÃO DO TRABALHO**

Este trabalho concentra-se, inicialmente, na identificação e análise dos benefícios e desafios das tecnologias da Indústria 4.0 no desempenho da *Supply Chain* com base na literatura.

Adicionalmente, é foco deste trabalho identificar as percepções das empresas quanto aos benefícios e desafios da implantação das tecnologias associadas à Indústria 4.0 na *Supply Chain*, visando comparar os resultados obtidos em um estudo de campo aos identificados na literatura.

### **1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO**

Este trabalho está organizado em cinco capítulos, incluindo este introdutório que tem como objetivo contextualizar o tema, apresentar sua importância e justificativa, seus objetivos geral e específicos e delimitações referentes ao escopo. O Capítulo 2 discute, sob o ponto de vista da literatura, os conceitos e fundamentos de: (1) *Supply Chain*, seus processos, funções e estruturas interna e externa e; (2) *Supply Chain* 4.0, suas tecnologias advindas do desenvolvimento do conceito Indústria 4.0, processos chave e modelo para o seu desenvolvimento. No Capítulo 3 é apresentada, de forma detalhada, a abordagem metodológica utilizada. Já o Capítulo 4 apresenta e discute os impactos positivos e negativos das tecnologias da Indústria 4.0 no desempenho da *Supply Chain* e demais resultados obtidos por meio do método proposto. O Capítulo 5 apresenta as principais conclusões do trabalho, bem como sugestões para trabalhos futuros ou pesquisas na área. Por fim, são

identificadas as referências bibliográficas utilizadas durante o desenvolvimento do trabalho.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, são apresentados os conceitos relevantes para o tema proposto neste trabalho, sendo eles: *Supply Chain* e seus níveis de integração (*Supply Chain* interorganizacional e *Supply Chain* intraorganizacional), Indústria 4.0 e *Supply Chain* 4.0; conceitos que vêm recebendo cada vez mais atenção pela academia e pela indústria uma vez observado os inúmeros benefícios que empresas podem obter por meio da implementação destes.

### 2.1. SUPPLY CHAIN

*Supply Chain* é um conceito definido de diversas formas. New (1997) e Atashbar *et al.* (2016) apresentam essa dificuldade e acrescentam que esse fato pode vir a atrapalhar o entendimento do assunto tratado. Hoffa *et al.* (2015) apresentam três distintos níveis de gestão da *Supply Chain* para o direcionamento de estudos; são eles:

- Estratégico: nível que concentra esforços no design da rede de acordo com a visão da empresa e seu principal objetivo;
- Tático: delinea os fluxos de materiais e o nível de produção, bem como os aspectos de gestão intimamente relacionados à sua implantação e;
- Operacional: descreve o cronograma de operações, analisa as atividades individualmente e preocupar-se em produzir e entregar o produto ao cliente dentro do prazo acordado.

O conceito de *Supply Chain* utilizado neste trabalho baseia-se na definição desenvolvida pelo *Supply-Chain Council* (1997), que define a *Supply Chain* como (LUMMUS *et al.*, 2001):

“A *Supply Chain* engloba todo esforço envolvido na produção e entrega de um produto final, desde o fornecedor do fornecedor até o cliente do cliente. Quatro processos básicos - planejar, comprar, fazer e entregar - definem amplamente esses esforços, que incluem gerenciamento de oferta e demanda, fornecimento de matérias-primas e peças, fabricação e montagem, armazenamento e rastreamento de estoque, entrada de pedidos e gerenciamento de pedidos, distribuição em todos os canais e entrega ao cliente”.

Drake (2012) destaca a importância das funções da *Supply Chain* em realizar suas operações de forma eficaz e eficiente, uma vez observado que a competição se dá entre cadeias de suprimentos, e não entre empresas isoladamente (CHRISTOPHER, 2001). Frohlich e Westbrook (2001) também apontam que fluxos de matérias e informações ocorrem dentro da *Supply Chain*, tanto entre departamentos, quanto entre clientes e fornecedores. Para que a *Supply Chain* seja bem integrada e atinja seu objetivo, tais fluxos devem ser devidamente coordenados e sincronizados. Towill *et al.*, (2000) descrevem que a *Supply Chain* deve ser vista como uma rede contínua, em que seus membros trabalham como uma empresa ou entidade única visando reduzir perdas e melhorar o desempenho global.

Conforme representada na Figura 1, a *Supply Chain* é composta por dois processos básicos que fornecem a estrutura básica para transformar a matéria-prima em produto acabado e toda sua respectiva movimentação para isso. O primeiro processo, denominado Processo de Planejamento de Produção e Controle de Inventário, abrange os subprocessos de fabricação e armazenamento, bem como suas interfaces. Incluem-se, nesse processo, todas as etapas do planejamento e gerenciamento do processo de fabricação (aquisição de matérias-primas, produção e manuseio de materiais) e das políticas e procedimentos de armazenamento para matérias-primas, estoques de produtos em processo e acabados. O segundo processo, denominado Processo de Distribuição e Logística, abrange as etapas de gerenciamento de recuperação de estoque, transporte e entrega do produto final aos clientes (BEAMON, 1998).

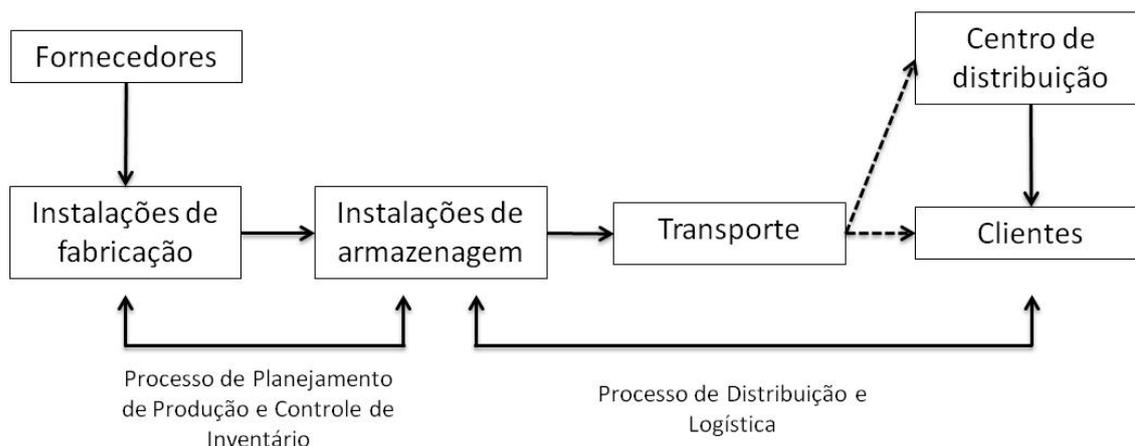


Figura 1: Processos básicos da *Supply Chain*

Fonte: Beamon (1998)

Bowersox *et al.* (2006) explicam que a estratégia da *Supply Chain* é integrar operacionalmente uma empresa aos seus clientes e fornecedores, de forma a obter vantagem competitiva. Frohlich e Westbrook (2001) complementam essa afirmação ao esclarecer que empresas de sucesso figuram aquelas capazes de unir seus processos internos aos de seus fornecedores e clientes externos. Sob essa concepção, identificam-se dois níveis da *Supply Chain* que requerem integração (BEESLEY, 1996; FLYNN *et al.* 2010; NAKANO *et al.*, 2013; PAGELL, 2004; PAGGEL e WU, 2006; ZHAO *et al.*, 2011):

- *Supply Chain* interorganizacional: também chamada de *Supply Chain* externa ou estrutura horizontal, consiste de um conjunto de empresas que colaboram e integram suas distintas competências básicas para a coordenação das atividades interorganizacionais de modo a obter vantagem competitiva (BEESLEY, 1996; FLYNN *et al.*, 2010; STANK *et al.*, 2001) e;
- *Supply Chain* intraorganizacional: também denominada de *Supply Chain* interna/interdepartamental ou estrutura vertical, abrange as atividades intraorganizacionais da empresa que, mesmo muitas vezes apresentando objetivos distintos e conflituosos, faz-se necessário torná-las colaborativas e sincronizadas para garantir o atendimento às necessidades dos clientes e a interação eficiente com os fornecedores (BASNET, 2013; BEESLEY, 1996; FLYNN *et al.*, 2010; KAHN e MENTZER, 1996; KORHONEN *et al.*, 2007).

A Figura 2 exibe uma representação comum de uma *Supply Chain*. Observa-se que essa figura somente ilustra o conceito da *Supply Chain* sob a ótica interorganizacional, ou seja, não exibe em detalhes as atividades, processos, recursos, capacidades e custos que a compõe (SHAPIRO, 2006). Nela, uma rede de empresas tem suas atividades conectadas de modo a agregar valor ao produto e atender o cliente final (FROHLICH e WESTBROOK, 2001; KERBACHE e SMITH, 2004).

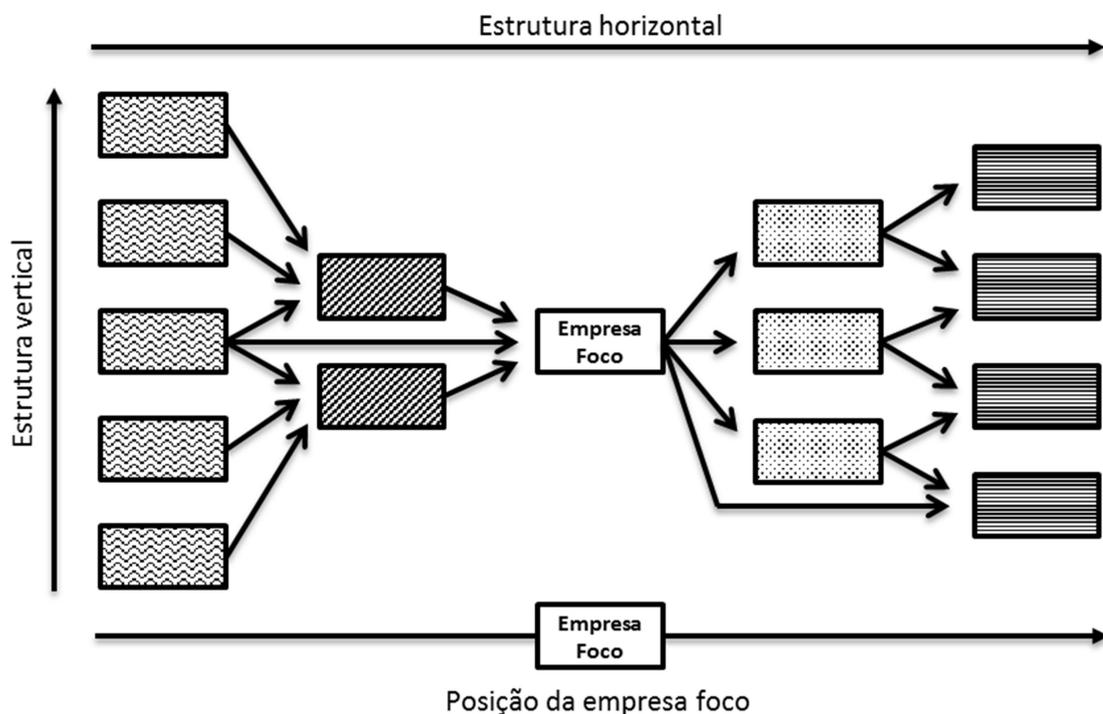


Figura 2: Representação de uma *Supply Chain*

Fonte: Lambert *et al.* (1998)

As setas na figura ilustram os fluxos dentro da *Supply Chain*. Ayers (2006) ressalva que esses fluxos são comumente atribuídos apenas à distribuição física (fluxos de materiais). No entanto, fluxos de informações e dinheiro também ocorrem e devem ser considerados. Adicionalmente, Lambert *et al.* (1998) explanam que os fluxos podem ocorrer em dois sentidos: jusante, no sentido do cliente final e; montante, no sentido de seus fornecedores. Cabe ressaltar que a *Supply Chain* é dinâmica, pois esses fluxos ocorrem de forma constante (AYERS, 2006) tanto entre empresas quanto entre os departamentos que realizam as atividades que a compõe (SHAH, 2009).

Lambert *et al.* (1998) também apresentam as três dimensões estruturais da *Supply Chain*; são elas: (1) estrutura horizontal, que representa o número de níveis ou camadas que a *Supply Chain* apresenta; (2) estrutura vertical, que representa o número de empresas em cada nível ou camada da *Supply Chain* e; (3) posição da empresa foco, que representa a posição horizontal da empresa foco ao longo da *Supply Chain*.

Sob a ótica da *Supply Chain* intraorganizacional, pode-se identificar as atividades, processos, recursos e capacidades que a compõe. Stadtler *et al.*, (2015) apontam a obrigatoriedade da integração entre essas atividades. Entende-se por departamentos integrados àqueles que interagem e colaboram entre si, isto é, departamentos que se comunicam e trabalham conjuntamente, compartilhando recursos de modo a alcançar metas coletivas (KAHN e MENTZER, 1996).

A Figura 3 representa de forma esquemática uma *Supply Chain* interna, mostrando os processos internos que a compõe e que funcionam como parte de um sistema integrado (FLYNN *et al.*, 2010), sendo eles: previsão, aquisição, manufatura, distribuição e vendas e *marketing* (CHAN, 2003). Flynn *et al.*, (2010) também explicam que o elemento “integração” quebra as barreiras entre setores e permite a colaboração entre eles.

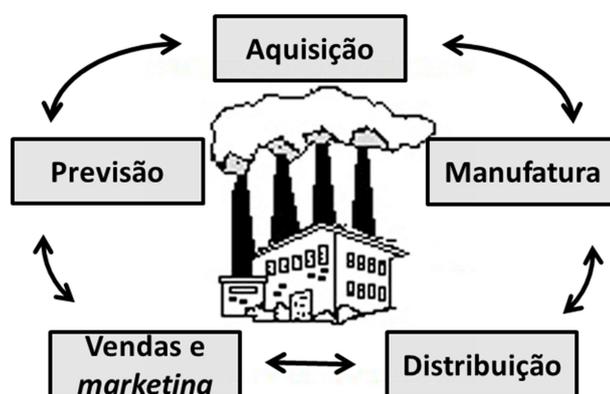


Figura 3: Representação de uma *Supply Chain* intraorganizacional

Fonte: elaborado pelo autor com base em Flynn *et al.* (2010) e Chan (2003)

A integração interna da *Supply Chain* é dada como um elemento base para o desenvolvimento da integração externa - integração entre clientes e fornecedores (FLYNN *et al.*, 2010). Drake (2012) enfatiza a impossibilidade de uma empresa integrar seus processos com clientes e fornecedores sem que ela tenha seus processos internos alinhados. Adicionalmente, observa-se que essa integração direciona as empresas a obterem melhor desempenho e maior competitividade (NAKANO *et al.*, 2013), fatores de grande importância quando observado o aumento na concorrência global e no nível de exigência dos consumidores (TURKULAINEN *et al.*, 2017).

No entanto, Fawcett e Magnan (2002) e Pagell (2004) declaram que os processos internos da *Supply Chain* apresentam pouca integração entre si. Isso pode ser causado devido diferenças nos objetivos, nas formas de se trabalhar e comunicar (KORHONEN *et al.*, 2007). Esse fato é evidenciado nos relatos de gestores da área, que consideram mais fácil integrar as atividades com clientes e fornecedores do que entre os departamentos internos da empresa (PAGELL, 2004; PAGELL e WU, 2006).

Em seu trabalho, Bryceson e Slaughter (2010) identificam que a integração interna da *Supply Chain* pode ser facilitada por meio de indicadores de desempenho apropriados que garantam a integração entre os departamentos para, assim, possibilitar um melhor atendimento aos objetivos operacionais e corporativos.

Sob esse foco, verifica-se que a *Supply Chain* interna trata da integração e gerenciamento do conhecimento, das relações e dos fluxos entre os departamentos da empresa (SWINK *et al.*, 2017 *apud* TURKULAINEN *et al.*, 2017).

## **2.2. INDÚSTRIA 4.0**

O termo Indústria 4.0 corresponde à quarta revolução industrial, resultado de um grupo de rápidas transformações na fabricação, operação, *design* e serviço

de sistemas de manufatura e produtos (DAVIES, 2015). Sucessora das outras três revoluções, caracterizadas, respectivamente, pelo uso de energia e água a vapor, pela introdução do uso de energia elétrica e, por fim, pelo uso de eletroeletrônicos e tecnologias de informação (KAGERMANN *et al.*, 2013), a quarta revolução industrial visa utilizar tecnologias que promovam a integração inteligente de fábricas, produtos, processos e serviços (KAGERMANN *et al.*, 2015).

A Indústria 4.0 é definida como a soma de diversas inovações disruptivas derivadas e implementadas em uma cadeia de valor para abordar as tendências de digitalização, autonomização, transparência, mobilidade, modularização, colaboração de rede e socialização de produtos e processos (PFOHL *et al.*, 2015). Seu conceito apresenta três níveis de integração; a saber: (1) Integração horizontal; (2) Integração vertical e; (3) Integração de ponta a ponta do ciclo de vida do produto (KAGERMANN *et al.*, 2013).

- Integração vertical: integração de diferentes sistemas de tecnologia da informação nos diferentes níveis hierárquicos de um sistema de produção (atuadores e sensores, controladores e gerenciadores da produção);
- Integração horizontal: integração dos vários sistemas de tecnologia de informação para o suporte e/ou execução de diferentes processos (manufatura, logística, *marketing*, engenharia e serviços), sejam eles internos ou externos aos limites de uma empresa.
- Integração de ponta a ponta do ciclo de vida do produto: corresponde à digitalização de todo o ciclo de vida do produto. Informações de todas as etapas, desde o desenvolvimento do produto, a aquisição da matéria prima, a produção do produto, seu uso e reciclagem ou desmontagem, devem ser consistentemente ligadas.

Além da forte demanda do uso e integração de tecnologias, Lasi *et al.* (2014) destacam características sociais, econômicas e políticas que são impactadas pela Indústria 4.0; citem-se: (1) Redução do tempo no desenvolvimento e

períodos de inovações, se tornando uma capacidade essencial de sucesso para empresas; (2) Individualização crescente de produtos; (3) Aumento da flexibilidade no desenvolvimento de produtos, especialmente na produção; (4) Descentralização das atividades, levando a tomadas de decisões mais rápidas e; (5) Eficiência de recursos, objetivando um aumento econômico e ecológico da eficiência.

Acatech (2017) descreve os passos necessários para o desenvolvimento da Indústria 4.0, conforme Figura 4. Dois passos são dados como requisitos básicos para sua implementação. O primeiro é a informatização, sendo este a base da digitalização. Esse primeiro passo é caracterizado pelo uso de diferentes sistemas de informação sem a comunicação entre eles. Já o segundo requisito é a conectividade, característica chave para a Internet das Coisas. Diferentemente do primeiro, neste passo verifica-se a comunicação e a troca de dados entre diferentes sistemas de informação.

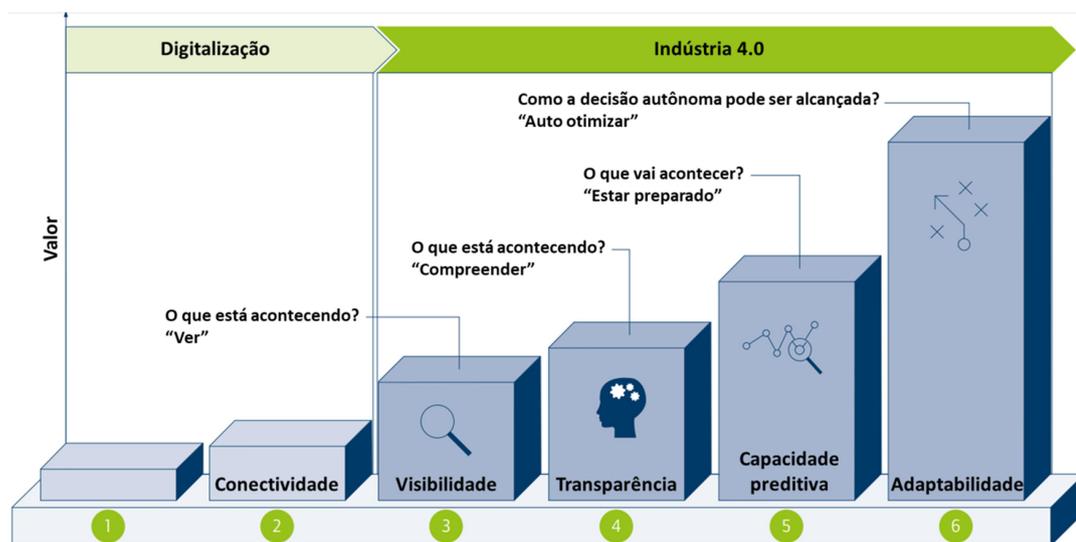


Figura 4: Estágios para o desenvolvimento da Indústria 4.0

Fonte: Acatech (2017)

Após os requisitos básicos, os autores descrevem quatro passos para o desenvolvimento da Indústria 4.0: Visibilidade, Transparência, Capacidade preditiva e Adaptabilidade (ACATECH, 2017).

- **Visibilidade:** Coleta de dados do início ao fim de todos os processos de empresas e seus parceiros por meio de sensores, microchips e tecnologias de rede, permitindo a criação de um modelo digital atualizado que possa, por exemplo, identificar um problema específico, tomar decisão e informar clientes e fornecedores em tempo real.
- **Transparência:** Passo que concentra em entender o porquê dos acontecimentos. Isso é feito por meio da análise dos grandes volumes de dados gerados pelos sensores e demais dispositivos conectados.
- **Capacidade preditiva:** Passo que trata da capacidade da empresa de simular futuros e identificar aqueles mais prováveis. Isso permite a antecipação na tomada de decisão e a redução de eventos inesperados nas atividades.
- **Adaptabilidade:** Adaptação contínua de sistemas de tecnologia de informação para determinadas tomadas de decisão autônomas (isto é, sem a intervenção humana), garantindo a adaptação ágil a um ambiente em constante mudança.

Conforme a definição de Indústria 4.0, pode-se observar que as inovações, principalmente nos aspectos tecnológicos, são os elementos chave para o desenvolvimento de uma rede de valor que promova o ganho de vantagem competitiva para as empresas. Cinco dessas tecnologias são apresentadas com maior destaque dentro do conceito Indústria 4.0 (ANDERL, 2015; KAGERMANN *et al.*, 2013; LASI *et al.*, 2014): Sistemas Físico-Cibernéticos, Internet das Coisas e dos Serviços, objetos inteligentes, Computação em Nuvem e *Big Data*. Segundo Dalmarco e Barros (2018) e Ghobakhloo (2018), essas tecnologias permitem habilitar a integração das empresas em escala global e o compartilhamento informações.

No entanto, outras tecnologias estão inseridas dentro desse universo. Dalmarco e Barros (2018) citam tecnologias como Manufatura aditiva, Robôs Industriais, Segurança cibernética e Tecnologias semânticas. Outros autores adicionam as tecnologias Realidade aumentada e Simulação (CGI, 2017;

GEISSBAUER *et al.* 2016; HASNAN e YUSOFF, 2018; RÜßMANN *et al.*, 2015).

Em seu trabalho, Ghobakhloo (2018) apresenta todo esse conjunto de tecnologias inseridas no conceito Indústria 4.0 e acrescenta outras duas, conforme Figura 5: (1) Tecnologias semânticas e (2) *Blockchain*. Essas tecnologias serão apresentadas em maiores detalhes a seguir.

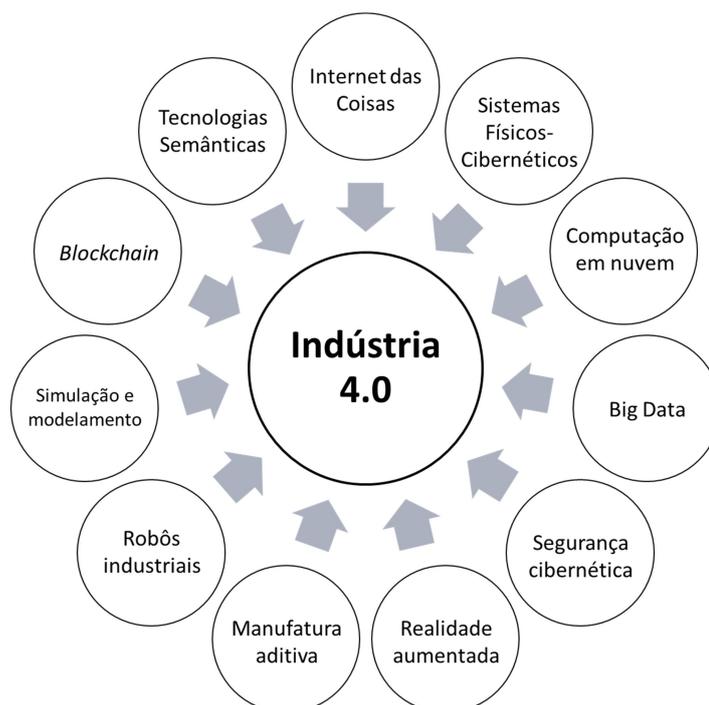


Figura 5: Tecnologias da Indústria 4.0

Fonte: Ghobakhloo (2018)

#### a. Internet das Coisas

A Internet das Coisas é definida como uma infraestrutura de rede global dinâmica com recursos de autoconfiguração baseados em protocolos de comunicação padronizados e interoperáveis, onde objetos físicos e virtuais têm identidades, atributos físicos e personalidades virtuais, e usam interfaces inteligentes integradas na rede (CERP-IoT, 2009). Basicamente, é composta por um conjunto de redes que conectam dispositivos e permite a comunicação, coleta e troca de dados entre eles (EY, 2016).

Sendo sua estrutura basicamente composta por objetos e dispositivos, gateway, rede, plataformas para armazenamento e processamento e aplicações e interfaces para usuários, essa tecnologia apresenta vasto potencial; no entanto, suas aplicações práticas ainda se encontram em um estágio inicial (EY, 2016).

#### b. Sistemas Físicos Cibernéticos

Os Sistemas Físicos Cibernéticos compreendem máquinas, sistemas de armazenamento e instalações de produção que foram desenvolvidos digitalmente e apresentam integração de ponta a ponta baseada em tecnologias de informação e comunicação (*ICT - Information and Communication Technology*) (KAGERMANN *et al.*, 2013). São caracterizados pela descentralização, adaptação e comportamento autônomo (IVANOV e SOLOKOV, 2012) e apresentam aplicações em diversas áreas, como na medicina, logística, manufatura e energia (JAZDI, 2014)

Ainda segundo Jazdi (2014), os Sistemas Físicos Cibernéticos são sistemas embarcados que consistem de uma unidade de controle, um ou mais microcontroladores e sensores e atuadores que interagem com o mundo real, coletam dados e os processam.

Uma arquitetura para esse sistema é proposto por Lee *et al.* (2015) e denominada de arquitetura 5C. Essa arquitetura é composta por cinco funções, a saber: (1) nível de conexão inteligente; (2) nível de conversão de dados para informação; (3) nível cibernético; (4) nível de cognição e; (5) nível de configuração. Semelhante aos passos apresentados para o desenvolvimento da Indústria 4.0 por Acatech (2017) acima explanado, a arquitetura dos Sistemas Físicos Cibernéticos partem de um nível de conexão básico para coleta de dados, estabelecem a comunicação entre sistemas para gerar informação e maior poder de decisão, e se expandem a um nível de otimização de decisões e tomadas de ações autônomas.

### c. Computação em nuvem

A computação em nuvem tem como objetivo integrar tecnologias ou arquiteturas de modo a oferecer uma plataforma ou solução por meio da Internet, permitindo seu acesso a qualquer momento e em qualquer lugar (RAZA *et al.*, 2015), gerando visibilidade sem precedentes, insights e flexibilidade (BÜYÜKÖZKAN e GÖÇER, 2018). Possui capacidade ilimitada de armazenamento e processamento, fornecendo recursos como escalabilidade sob demanda, flexibilidade e alocação dinâmica de recursos (KHANNA, 2015; FORE *et al.*, 2016).

### d. Big data

Big Data é definida como um grande conjunto de dados provenientes de diversas fontes, tanto tradicionais quanto digitais, em que análises e descobertas contínuas podem ser feitas (ARTHUR, 2013). Big Data é distinguida em cinco dimensões (YIN e KAYNAK, 2015): (1) Volume: grande quantidade de dados e tamanho de bases de dados; (2) Variedade: diversas estruturas e formas de dados; (3) Velocidade: alta velocidade de disponibilidade e transferência de dados; (4) Veracidade: dados de alta qualidade, corretos e precisos, adequados, confiáveis e gerenciáveis e; (5) Valor: importância do dado obtido, apresentado usabilidade após seu processamento. Analisados, esses dados podem gerar informações valiosas às empresas. Wang *et al.* (2016) observam três categorias de análises: (1) Descritiva: identifica problemas e oportunidades nos processos existentes; (2) Preditiva: por meio do uso de algoritmos, descobre padrões explicativos e preditivos visando projetar o que acontecerá no futuro e; (3) Prescritiva: também por meio de uso de dados e algoritmos, tem o objetivo de determinar e avaliar decisões com o objetivo de melhorar o desempenho dos negócios.

### e. Segurança cibernética

A segurança cibernética é descrita por Ghobakhloo (2018) como o elemento chave da Indústria 4.0. Essa tecnologia impacta significativamente nos

aspectos referentes à proteção da integridade de sistemas e informações inseridos no ambiente inteligente que conecta objetos físicos e virtuais à internet (TUPTUK e HAILES, 2018).

f. Realidade aumentada

Definido como uma extensão da realidade física, essa tecnologia permite a visualização de informações geradas por computador no ambiente real. Informações nesse contexto incluem objetos virtuais, textos, gráficos, vídeos, sons, *feedback* táteis, dados de sistemas de posicionamento global (GPS) e até cheiros (YEW *et al.*, 2016 *apud* GHOBAKHLOO, 2018; BÜYÜKÖZKAN e GÖÇER, 2018).

g. Manufatura aditiva

Essa tecnologia disruptiva, também conhecido como Impressão 3D, refere-se aos processos utilizados para sintetizar um objeto tridimensional (BÜYÜKÖZKAN e GÖÇER, 2018) por meio da fusão de finas camadas de pó adicionadas umas sobre as outras (ESMAEILIAN *et al.*, 2016). Lasi *et al.* (2014) afirmam que a manufatura aditiva pode apoiar a ideia de “fábrica inteligente” ao proporcionar maior velocidade de produção, liberdade de fabricação, redução da logística implicada nos processos, prototipagem rápida e experimentos de produção em pequena escala.

h. Robôs industriais

Tal tecnologia está ligada ao ramo da engenharia que envolve a concepção, design, fabricação e operação de robôs dentro do ambiente industrial (BÜYÜKÖZKAN e GÖÇER, 2018). A demanda dessa tecnologia vem aumentando devido os inúmeros benefícios oferecidos às empresas, tais como: redução do tempo de ciclo de peças, menor taxa de defeitos, maior qualidade e confiabilidade, menos desperdício e melhor utilização do espaço (ESMAEILIAN *et al.*, 2016).

#### i. Simulação e modelamento

Técnicas de simulação e modelagem visam à simplificação e o favorecimento econômico do projeto, realização, testes e execução de uma operação em sistemas de manufatura (KOCIAN *et al.*, 2012). No contexto da Indústria 4.0, RÜßMANN *et al.* (2015) explanam sua importância no aumento da quantidade de dados em tempo real para reproduzir o mundo físico em um modelo virtual e, assim, otimizar os processos.

#### j. *Blockchain*

A *Blockchain* é uma tecnologia de contabilidade distribuída; uma estrutura de dados que possibilita criar um livro contábil digital à prova de adulteração de transações e compartilhá-la (KSHETRI, 2017b). Schutzer (2016) *apud* Kshetri (2017a) explana que a *Blockchain* é apresentado como uma tecnologia que pode fornecer segurança cibernética robusta, bem como um alto nível de proteção de privacidade. É observado, ainda, que sua aplicação não se limita às atividades financeiras, podendo ser utilizada para qualquer tipo de transferência digitalizada de informações (GHOBAKHLOO, 2018).

#### k. Tecnologias semânticas

Berners-Lee *et al.* (2001) define tecnologias semânticas como “uma extensão da web atual na qual a informação recebe um significado bem definido, permitindo que computadores e pessoas trabalhem em cooperação”. Os autores afirmam que essa tecnologia tem como objetivo integrar diversas formas de informação, defendendo a ideia de que “qualquer coisa pode se conectar a qualquer coisa”. Sob esse aspecto, a tecnologia semântica permite a integração de máquinas, sistemas e demais recursos interconectados por tecnologias como a Internet das Coisas mesmo sem possuir um protocolo de aplicação universal, (THULUVA *et al.*, 2017).

### 2.3. SUPPLY CHAIN E AS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0

A integração das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain* resulta na *Supply Chain 4.0*, definida por Büyüközkan e Göçer (2017b, p.1) como "uma série de atividades interconectadas que se preocupam com a coordenação, planejamento e controle de produtos e serviços entre fornecedores e consumidores". Assim, observa-se que seu objetivo é gerar novas formas de agregar valor para clientes e fornecedores, além de gerar mais receita por meio da integração e coordenação de seus processos (BÜYÜKÖZKAN e GÖÇER, 2017b, TJAHJONO *et al.*, 2017).

A digitalização das atividades que compõem a *Supply Chain* permite às empresas o aumento do desempenho de seus processos no que se refere a tempo, dinheiro e uso de recursos (BÜYÜKÖZKAN e GÖÇER, 2017b). Por digitalização, entende-se como a transformação de estruturas sócio-técnicas que antes eram mediadas por artefatos ou relacionamentos não digitais em estruturas mediadas por artefatos e relações digitalizadas (Yoo *et al.*, 2010). No centro dessa era digital, uma vez observado que se trata de uma prioridade de negócio, a *Supply Chain* se integra por meio das tecnologias de informação e comunicação (*Information and Communication Technologies - ICT*) tanto digitalmente quanto fisicamente (FARAHANI *et al.*, 2017).

Wu *et al.* (2016) estabelecem seis características para a *Supply Chain 4.0*, conforme apresentado na Figura 6.

- Instrumentada: Sistemas com sensores, tags *RFID*, medidores e demais componentes integrados, capazes de gerar dados para tomada de decisão.
- Interligada: Membros da cadeia de suprimentos conectados, incluindo seus ativos, sistemas de TI, produtos e demais objetos inteligentes.
- Inteligente: Sistemas inteligentes capazes de tomar decisões visando otimizar seu desempenho total por meio da coleta e análise de grandes volumes de dados.

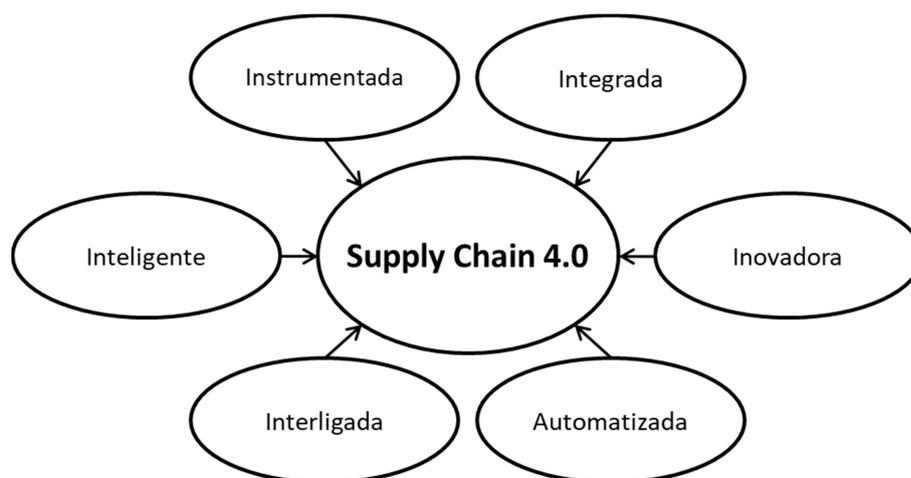


Figura 6: Características da Supply Chain 4.0

Fonte: Wu et al. (2016)

- Automatizada: Inúmeras atividades automatizadas que visam substituir recursos de menor eficiência (incluindo mão de obra).
- Integrada: Atividades da cadeia de suprimentos integradas, envolvendo a colaboração entre os membros da cadeia de suprimentos, tomando decisões conjuntamente, fazendo uso de sistemas comuns e compartilhando informações.
- Inovadora: Capacidade de desenvolver e agregar novos valores por meio de soluções mais eficientes ou que atendam a novos requisitos.

Ainda segundo os autores, tais características devem abranger todos os clientes e fornecedores que compõem a cadeia de suprimentos e são decorrentes da inserção de tecnologias da informação e comunicação na *Supply Chain*, em especial tecnologias que habilitam as empresas a integrar seus processos em escala global e que permitem o compartilhamento de informação (DALMARCO e BARROS, 2018; GHOBAKHLOO, 2018).

As tecnologias da Indústria 4.0 apresentam diversas aplicações na *Supply Chain* de forma a viabilizar a coordenação e integração entre suas atividades e funções. Alguns exemplos são:

- A Internet das Coisas, por exemplo, permite a integração de aplicações de negócios, de Web (como mídias sociais) e máquinas, dispositivos, produtos, materiais e pessoas, tornando possível a criação de uma rede inteligente que se estende por todos os processos da fábrica e de clientes e fornecedores (SZOZDA, 2017).
- Já os Sistemas Físico-Cibernéticos oferecem à *Supply Chain* oportunidades de monitorar as condições das atividades de manufatura e da logística em tempo real, viabilizando prognóstico, diagnóstico remoto e controle remoto (LEE et al., 2013).
- A computação em nuvem tem como objetivo integrar tecnologias ou arquiteturas de modo a oferecer uma plataforma ou solução por meio da Internet, permitindo seu acesso a qualquer momento e em qualquer lugar (RAZA et al., 2015), gerando visibilidade sem precedentes, insights e flexibilidade (BÜYÜKÖZKAN e GÖÇER, 2018).
- O *Big Data*, por sua vez, apresenta aplicações nos fluxos de matérias (como status da produção, monitoramento de processos e qualidade, manuseio de estoques, logística, pesquisa e desenvolvimento e soluções coletivas nas funções de aquisição e distribuição), nos fluxos de informação (como previsão de demanda, gerenciamento de eventos da *Supply Chain*, negociações com fornecedores, gerenciamento de riscos, identificação de problemas, suporte a decisões automatizadas e gerenciamento de clientes) e nos fluxos financeiros (como segmentação de clientes, modelagem de demanda, desenho de novo modelo de negócio, precificação e sortimento e aspectos financeiros de recursos humanos) (WANG et al., 2016).

Graças à ampla gama de tecnologias, torna-se possível integrar a *Supply Chain* em sua totalidade (não somente clientes e fornecedores, mas também seus ativos, produtos e ambiente operacional) e gerar um volume de dados maior, com mais qualidade e rapidez (WU et al., 2016). Além disso, as tecnologias permitem às empresas aumentarem a flexibilidade, produtividade, confiabilidade e capacidade de resposta em suas operações. Adicionalmente,

ao viabilizar a reorganização de toda a operação em tempo real, as empresas têm a possibilidade diminuir o efeito chicote e os custos associados às operações da cadeia de suprimentos (MACHADO e SHAH, 2016, DWEEKAT e PARK, 2016).

Na Figura 7, Aliche *et al.* (2016) ilustram a dinâmica da *Supply Chain* digitalizada. Por meio da conectividade de suas operações oferecida pela digitalização, um alto grau de dados e informações são coletadas e analisadas pelos processos, permitindo às empresas otimizar as atividades de previsão, aquisição, manufatura, distribuição e vendas e *marketing*. Esse fator é considerado importante para a cadeia de suprimentos, uma vez constatado que atender as crescentes expectativas dos clientes é o foco principal da *Supply Chain*.

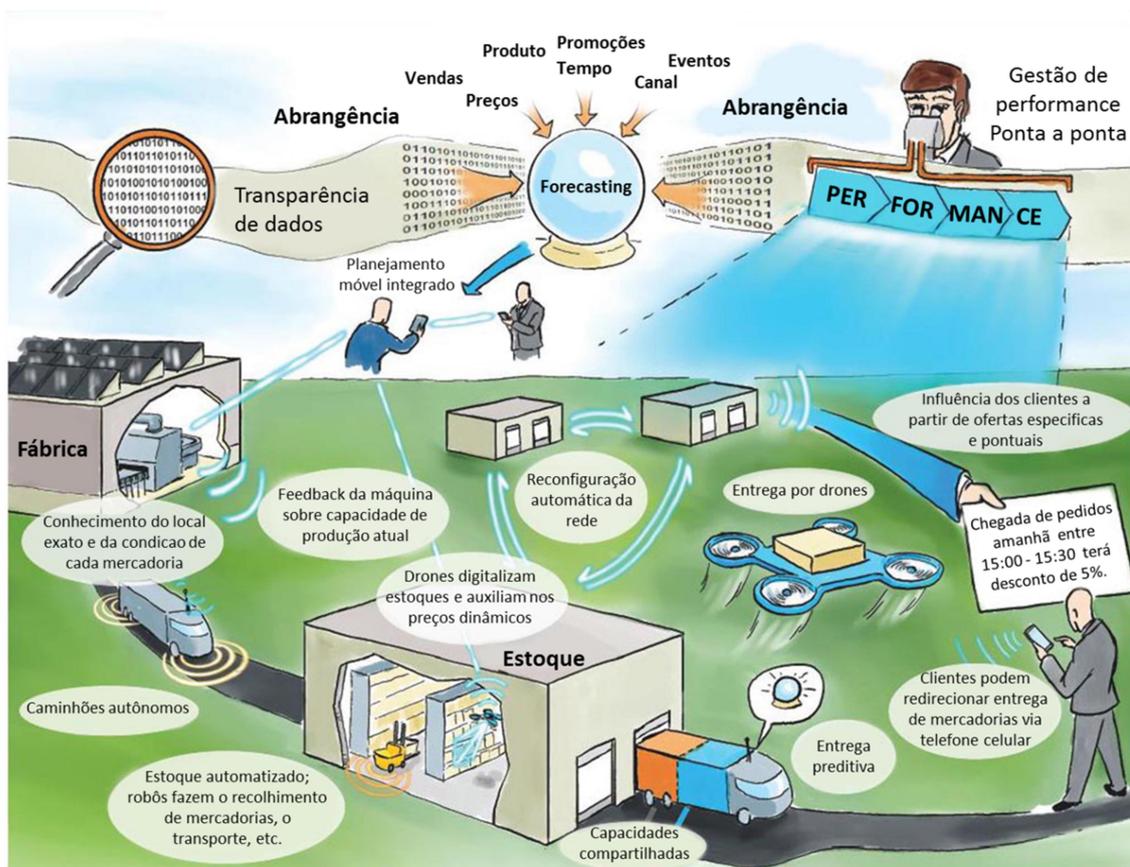


Figura 7: Inovações do contexto 4.0 na *Supply Chain*

Fonte: Aliche *et al.* (2016)

Segundo Schrauf e Berttram (2016), oito processos chave compõem a *Supply Chain 4.0*; são eles: Planejamento e Execução Integrados, Visibilidade Logística, Aquisição 4.0, Armazenagem Inteligente, Gerenciamento Eficiente de Peças Sobressalentes, Logística Autônoma e B2C, Análise Prescrita da Cadeia de Suprimentos, Habilitadores Inteligentes da Cadeia de Suprimentos. Esses processos chave são apresentados graficamente na Figura 8.

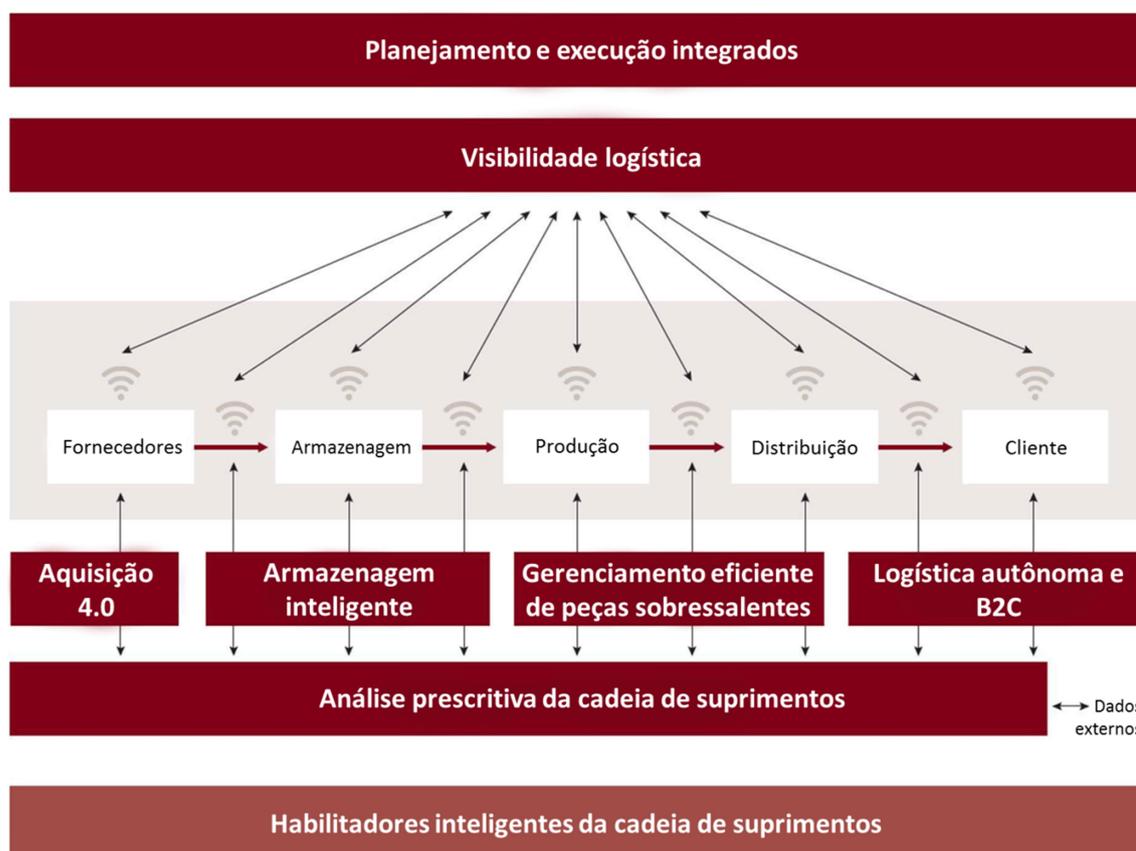


Figura 8: Processos chave da *Supply Chain 4.0*

Fonte: Schrauf e Berttram (2016)

O primeiro processo chave é o Planejamento e Execução Integrados, que, para os autores, responde à integração horizontal da cadeia de suprimentos, isto é, a integração das operações da empresa com as de seus clientes e fornecedores. Isso permite a visibilidade dos objetos, a interação entre pessoas, processos e tecnologias e a troca de informações em tempo real por toda a cadeia de suprimentos, possibilitando que as empresas realizem suas atividades de forma colaborativa, aumentando a capacidade de resposta,

rastreabilidade e controle das atividades da cadeia de suprimentos (DWECKAT *et al.*, 2017; HEANEY, 2013).

Por meio do segundo processo chave, Visibilidade Logística, a informação se torna transparente para toda a cadeia, com o planejamento sendo realizado de forma automática com uma mínima intervenção da inteligência humana (SCHRAUF e BERTTRAM, 2016). Adicionalmente, a visibilidade torna-se melhor por meio da coleta e análise de novos dados, possibilitando o monitoramento em tempo real do posicionamento de produtos, da temperatura, umidade e integridade de bens ou máquinas, entre outros. O objetivo é obter informações confiáveis para maior assertividade no atendimento à satisfação dos clientes (MACAULAY *et al.*, 2015).

A Aquisição 4.0, terceiro processo chave, é baseada na construção de relacionamentos e colaboração entre os membros da cadeia de suprimentos (MERLINO e SPROGE, 2017). A integração entre empresas e fornecedores é um elemento importante na *Supply Chain* e tem como objetivo reduzir custos e promover a entrega de produtos de forma mais ágil (SCHRAUF e BERTTRAM, 2016). Para integrar as atividades da Aquisição 4.0, Pearsall *et al.* (2011) expõem a necessidade de que as operações de ambas as partes sejam visíveis um para o outro.

O quarto processo chave, Armazenagem Inteligente, refere-se à forma como os produtos devem ser armazenados em um ambiente digital (4.0). Diferente do método tradicional, os armazéns são totalmente automatizados e possuem sistemas que permitem às empresas atualizarem seus inventários em tempo real, bem como assegurar a coordenação e o alinhamento de operações entre clientes e fornecedores (SCHRAUF e BERTTRAM, 2016, MACHADO e SHAH, 2016). Macaulay *et al.* (2015) também citam, dentre os benefícios decorrentes da coleta de maiores informações e da conexão entre pessoas e objetos, o maior nível de segurança dos empregados e a possibilidade de realização de manutenção preditiva nos equipamentos de transporte dos armazéns.

Já o quinto processo chave, Gerenciamento Eficiente de Peças Sobressalentes, Os autores explicam que a *Supply Chain* 4.0 trará como benefícios uma redução significativa nos custos e nos possíveis problemas a partir do uso de *software* para previsão eficiente da demanda de peças sobressalentes. Além disso, a impressão 3D permitirá que as empresas fabriquem localmente, quando necessário, peças de reposição de modo a manter as máquinas críticas em operação.

A Logística Autônoma e B2C (*business-to-consumer*) é o sexto processo chave da *Supply Chain* 4.0. Ao realizar o transporte por meio de veículos auto dirigíveis, tanto dentro quanto fora dos limites da empresa, a entrega dos produtos passa a ser feito de forma mais rápida e confiável, reduzindo custos da atividade e otimizando o roteamento (SCHRAUF e BERTTRAM, 2016).

Com base em análises descritivas e preditivas e em modelos de otimização matemática (SOUZA, 2014), o sétimo processo chave Análise Prescrita da Cadeia de Suprimentos permite que qualquer fator em toda a cadeia seja analisado de modo a promover uma melhor tomada de decisão (SCHRAUF e BERTTRAM, 2016). Isso passa a ser possível graças a grande quantidade de dados que as empresas estão coletando. Adicionalmente, essa tecnologia também permite às empresas avaliar os riscos e reduzir os custos envolvidos nos processos (SOUZA, 2014). Schrauf e Berttram (2016) também acrescentam que a utilização de indicadores econômicos e de algoritmos de autoaprendizagem podem ser integrados para a melhoria dos processos de auto decisão.

Para alcançar a total integração da cadeia de suprimentos, é apresentado pelos autores o oitavo processo chave, Habilitadores Inteligentes da Cadeia de Suprimentos. Os autores explicam que as estratégias para melhorar a integração entre fornecedores e clientes devem ser criadas de modo a usufruir de todas as oportunidades que a digitalização de dados possibilita. Além disso, é enfatizada a necessidade de desenvolvimento de algumas capacidades, apresentadas a seguir:

- Processos: Estabelecer novos processos de ponta a ponta conectando clientes e fornecedores por meio do uso das tecnologias da Indústria 4.0;
- Organização e habilidades: Observar o comportamento de ponta a ponta da cadeia de suprimentos, além de gerenciar e otimizar suas operações em tempo real. Ressalta-se, também, a necessidade de mudança de cultura em relação ao compartilhamento de informações, o rápido aprendizado e o desenvolvimento do conhecimento necessário para a operação de suas atividades;
- Gerenciamento de desempenho: Identificar os principais indicadores de desempenho necessários para avaliar o desempenho da cadeia de suprimentos;
- Parceria: Desenvolver a capacidade de trabalhar em parceria com outras empresas de modo a melhor integrar a cadeia de suprimentos como um todo;
- Tecnologia: Conhecer quais as tecnologias compõem a *Supply Chain* 4.0, tanto as novas quanto as mais antigas.

Um modelo para o desenvolvimento da *Supply Chain* 4.0 é apresentado por Büyüközkan e Göçer (2018). O modelo compreende três passos (Figura 9) necessários para o alinhamento organizacional voltado para esse fim: Digitalização, Implementação de Tecnologias e Gerenciamento.

O primeiro passo se inicia com a Digitalização, dada a necessidade de clareza sobre as políticas de digitalização e de colocar esforços em como desenvolver as capacidades digitais que serão construídas. A Digitalização deve contemplar cinco áreas fundamentais para que sua efetividade seja alcançada; são elas: estratégia digital, organização e cultura, operações, produtos e serviços e experiência digital do cliente.

O segundo passo é denominado de Implementação de Tecnologias, e difere-se do passo anterior ao compreender que seu foco se dá na implementação bem-

sucedida das tecnologias dentro da *Supply Chain*. Aqui, verifica-se que tecnologias maduras e emergentes servem como base para o universo digital e o desenvolvimento destas pode manter ou elevar a vantagem competitiva das empresas parceiras. É um processo contínuo que se divide em quatro áreas para a construção efetiva desse passo: gestão de processos, relacionamento humano e tecnológico, formação de infraestrutura tecnológica e habilitadores tecnológicos.

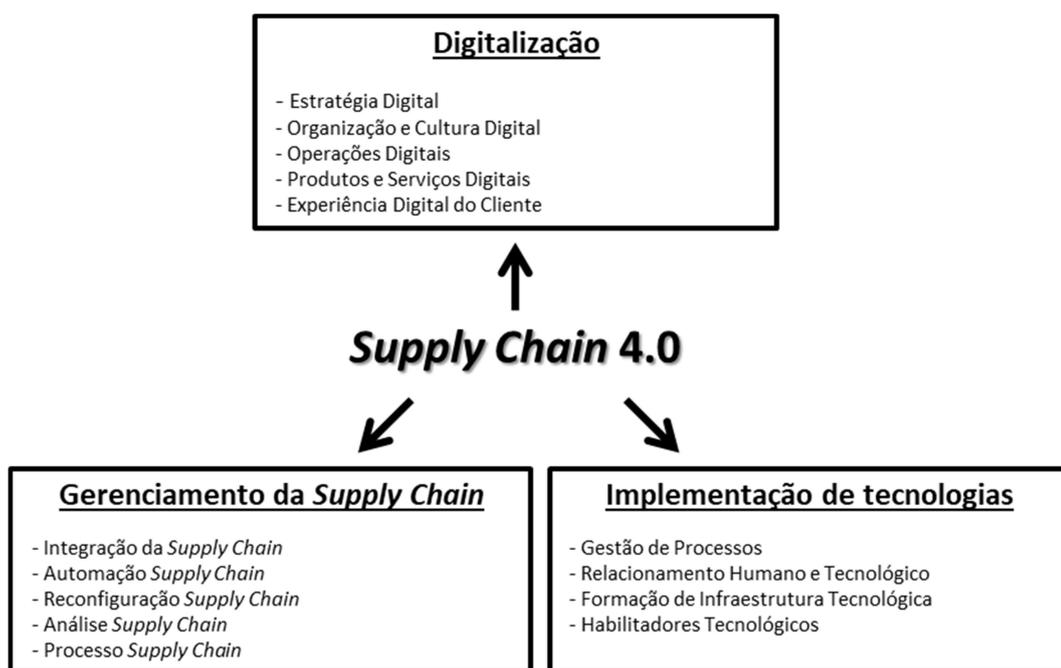


Figura 9: Modelo para o desenvolvimento da *Supply Chain 4.0*

Fonte: Büyükköçkan e Göçer (2018)

Finalmente, cite-se o terceiro passo, denominado Gerenciamento da *Supply Chain*, deve ser redesenhado para atingir os objetivos estratégicos ao longo do tempo. Decisões nesse nível são complexas e requerem grande conhecimento de toda rede. Esse passo é decomposto em integração, automação, reconfiguração, análise e processo.

#### 2.4. OUTRAS TECNOLOGIAS UTILIZADAS NA SUPPLY CHAIN

Além das tecnologias da Indústria 4.0 apresentadas na seção anterior, Büyüközkan e Göçer (2018) acrescentam outras duas que se aplicam à *Supply Chain*: (1) *Omnichannel*, que é definida como uma abordagem multicanal de vendas convergido em um único canal contínuo de fluxo de produtos que fornecem uma experiência de compra personalizada (KRAEMER, 2015), e (2) Veículos autoguiados, definidos como veículos capazes de sentir o ambiente e trafegar sem a intervenção humana (BÜYÜKÖZKAN e GÖÇER, 2018).

Adicionalmente, conforme apresentado por VDE (2014), é observado que o conceito 4.0 envolve a integração das demais tecnologias da indústria tradicional. Assim, apresentam-se, aqui, as tecnologias da indústria tradicional que compõe a função *Supply Chain*, identificadas na literatura utilizada neste trabalho:

- Roteirização: tecnologia que auxilia no planejamento e otimização de rotas para transporte, considerando custos, disponibilidade do cliente, tempo de atendimento, capacidade dos veículos e jornada do motorista (FIGUEIREDO *et al.*, 2007).
- Exoesqueleto: conceito de equipamento “vestível” que matem o funcionário no controle principal, e possibilita à máquina executar toda a força necessária na operação sem fadigá-lo (ZHU e ZHOU, 2012).
- Sistema automático de armazenagem e coleta: sistema de gerenciamento e armazenagem de materiais, que opera integrado a outros equipamentos utilizados na logística interna, podendo assegurar alta eficiência e acuracidade para os processos logísticos (HUANG *et al.* 2015).
- Gestão de Relacionamento com o Cliente (*CRM*): envolve uma combinação de pessoas, práticas e tecnologia que visam melhor compreender os clientes e suas necessidades, e personalizar produtos e serviços para atendê-los e se diferenciar dos concorrentes (CRUZ-JESUS *et al.*, 2019; GARRIDO-MORENO *et al.*, 2014). Sua abordagem estratégica se preocupa em criar

valor para o acionista unindo o potencial das estratégias de marketing de relacionamento e TI para criar relacionamentos rentáveis e de longo prazo com os clientes e outras partes interessadas (PAYNE e FROW, 2005).

- Sistema de Gerenciamento de Armazém (*WMS*): tecnologia orientada por banco de dados que tem como objetivo controlar o movimento e o armazenamento de materiais dentro de um armazém e processar as transações associadas, incluindo envio, recebimento, armazenamento e *picking* (RAMAA *et al.*, 2012).
- Planejamento dos recursos empresariais (*ERP*): sistema composto por múltiplos módulos que visa processar dados em informação para apoiar as empresas nos processos e nas decisões estratégicas de negócio (RIZNI e PORAVI, 2018; SUROSO *et al.*, 2018).
- Sistema de Execução de Manufatura (*MES*): sistema que se preocupa com a operação física, fornecendo informações precisas sobre as operações (MIKLOSEY, 2019) a outros sistemas interligados, como o ERP (WITZEL *et al.*, 2019).
- Intercâmbio Eletrônico de Dados (*EDI*): sistema de comércio eletrônico interorganizacional em que vínculos entre parceiros comerciais (comprador ou vendedor) são estabelecidos diretamente entre computadores (LEE e LIM, 2003), não tendo os dados compartilhados (dentro desses dados, citem-se atividade do produto, pedidos de compra e avisos de envio e cobrança) comprometidos por erros humanos (FIAIDHI *et al.*, 2018).
- Identificação por radiofrequência (*RFID*): tecnologia de identificação automática e captura de dados sem fio propicia a *Supply Chain* na melhoria da eficiência da cadeia de fornecimento por meio da troca de informações em tempo real e identificação em nível de item (WANG e HU, 2017). O *RFID* permite rastrear objetos em toda a sua produção e ciclo de vida subsequente, abrangendo e se estendendo aos limites da empresa (EVDOKIMOV *et al.*, 2011).

### **3. MÉTODO DE PESQUISA**

Nesta seção, são apresentadas a classificação da pesquisa e as etapas da abordagem metodológica.

#### **3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA**

Do ponto de vista de sua natureza, esta pesquisa pode ser classificada como básica, por gerar novos conhecimentos favoráveis ao avanço da ciência, envolvendo verdades e interesses comuns. Quanto à forma de abordagem do problema, trata-se de uma pesquisa qualitativa, tendo o ambiente industrial como fonte direta para coleta de dados e o pesquisador sendo instrumento-chave para isso, e quantitativa, uma vez que dados coletados para a realização do estudo podem ser quantificados, traduzindo opiniões e informações em números para que sejam analisadas e classificadas. Segundo os objetivos, trata-se de uma pesquisa exploratória, realizada a partir de levantamentos bibliográficos e entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema visando torná-la explícita ou construir hipóteses (PRODANOV e FREITAS, 2013; TURRIONI e MELLO, 2012). Já com relação aos procedimentos técnicos, trata-se de uma pesquisa bibliográfica, uma vez que será elaborada a partir de materiais publicados, tanto em meio físico quanto digital (PRODANOV e FREITAS, 2013; TURRIONI e MELLO, 2012; SILVA e MENEZES, 2001). Adicionalmente, será realizado um estudo de campo por meio de um questionário estruturado, com o objetivo de obter informações para comprovar, na prática, as observações teóricas identificadas (PRODANOV e FREITAS, 2013). A Figura 10 ilustra essa classificação.

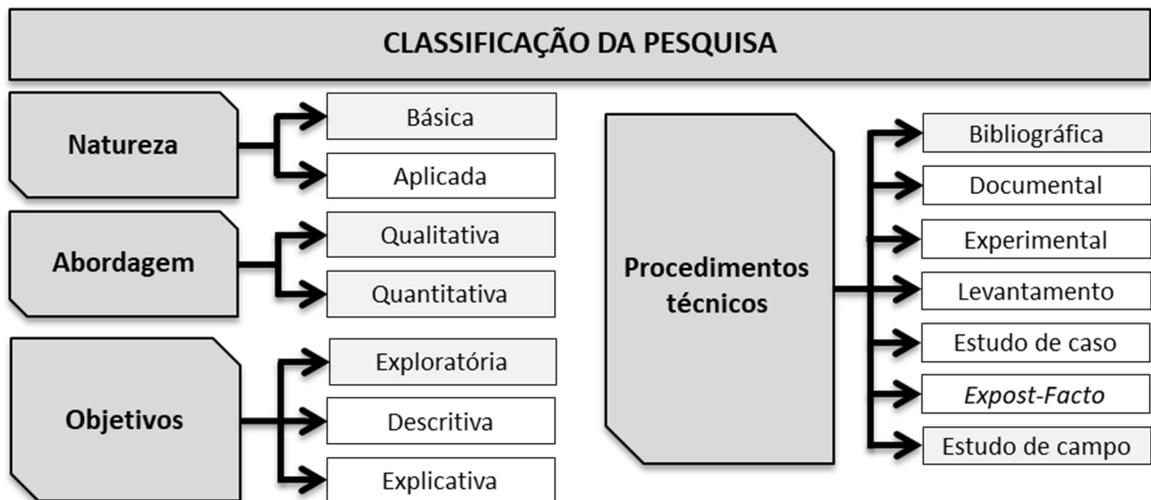


Figura 10: Classificação da pesquisa

Fonte: Adaptado de Prodanov e Freitas (2013), Turrioni e Mello (2012) e Silva e Menezes (2001)

### 3.2. ETAPAS DA ABORDAGEM METODOLÓGICA

A pesquisa se desenvolve em três etapas, conforme apresentado na Figura 11.

A primeira etapa contempla a revisão da literatura dos conceitos relevantes sobre os temas: (1) *Supply Chain*; (2) Indústria 4.0 e, (3) *Supply Chain* 4.0. Na segunda etapa, é realizada uma revisão sistemática da literatura com o objetivo de identificar e analisar os benefícios e desafios das tecnologias provenientes da Indústria 4.0 na *Supply Chain*. Já na terceira etapa, uma pesquisa de campo com o objetivo de identificar as percepções das empresas quanto aos benefícios e desafios da implantação e uso das tecnologias associadas à Indústria 4.0 na *Supply Chain* é conduzida.

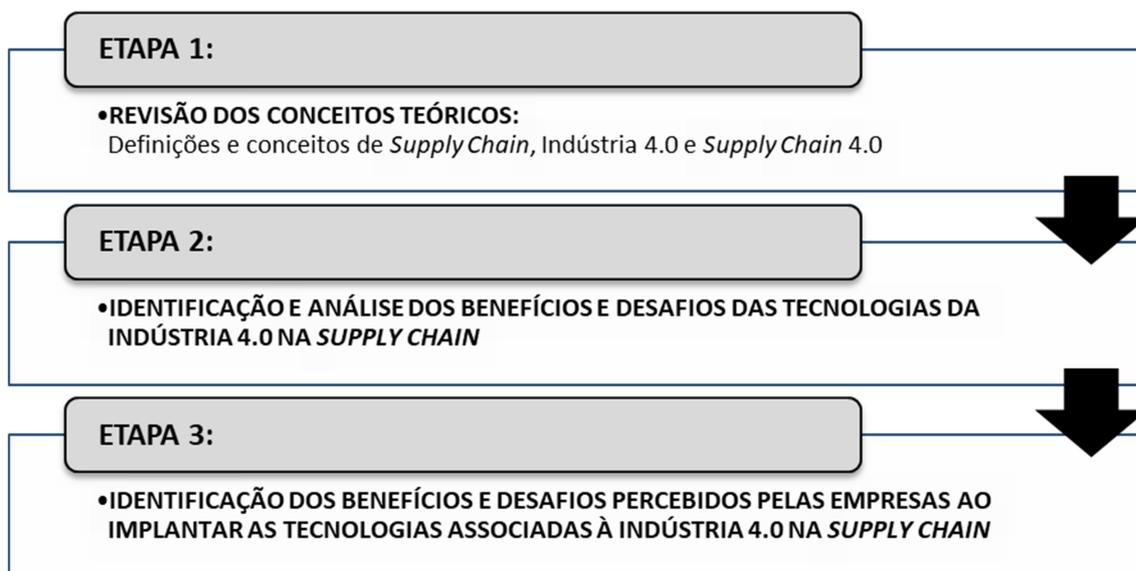


Figura 11: Etapas da abordagem metodológica

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Estas três etapas estão detalhadas nas seções 3.2.1. a 3.2.3 a seguir.

### 3.2.1. ETAPA 1: REVISÃO DOS CONCEITOS TEÓRICOS

Nesta etapa, apresentada no capítulo 2, foi realizada a revisão da literatura dos conceitos teóricos de: (1) *Supply Chain*, destacando seus processos básicos, estratégia para obtenção de vantagem competitiva e níveis de integração, (2) Indústria 4.0, explanando seu conceito e tecnologias e, (3) *Supply Chain 4.0*, explorando como as tecnologias integradas em suas funções transformam a dinâmica das operações.

### 3.2.2. ETAPA 2: IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS E DESAFIOS DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NA *SUPPLY CHAIN*

Para a identificação dos benefícios e desafios das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain*, foi utilizado o método de revisão sistemática da literatura

proposto por Levy e Ellis (2006), cuja abordagem de três estágios permite a orientação para o desenvolvimento de uma revisão da literatura sólida e eficaz. As etapas do método estão apresentadas na Figura 12.

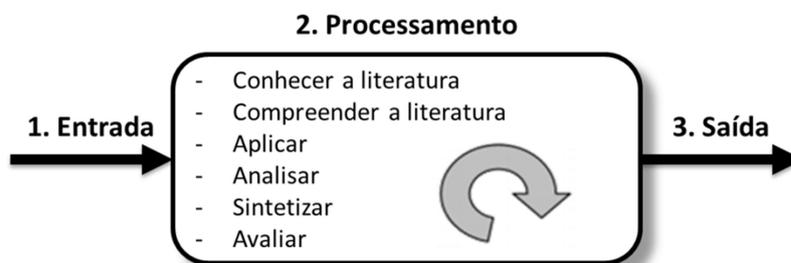


Figura 12: Etapas do processo de revisão sistemática da literatura

Fonte: Levy e Ellis (2006)

A primeira etapa (Entrada) trata das definições de buscas, como a escolha da base de dados, *strings* de busca e critérios de inclusão e exclusão de trabalhos.

Já a segunda etapa (Processamento) é composta de seis subetapas; a saber: (1) conhecer: identificar as publicações e extrair suas informações essenciais; (2) compreender: entender a importância do estudo realizado e o resultado apresentado; (3) aplicar: identificar os conceitos importantes ao estudo em questão e categorizá-los adequadamente; (4) analisar: identificar a relevância da informação apresentada; (5) sintetizar: integrar resultados como forma de compreender o conceito em sua totalidade e; (6) avaliar: processo de distinguir entre opiniões, teorias e fatos instituídos de forma empírica.

Por fim, na terceira etapa (Saída) são apresentados os resultados obtidos por meio do método utilizado.

A seguir, é apresentado em detalhes o processo de revisão sistemática da literatura para a identificação dos benefícios e desafios das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain*, respectivamente.

## • IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NA *SUPPLY CHAIN*

A Figura 13 apresenta o processo de revisão sistemática da literatura aqui utilizado. Foram consideradas quatro bases de dados para realização das buscas de trabalhos relevantes em relação ao conceito *Supply Chain* 4.0: *Scopus*, *Web of Science*, *Science Direct* e *IEEE*; sendo essas consideradas as bases de dados mais importantes dentro do escopo e área da pesquisa.

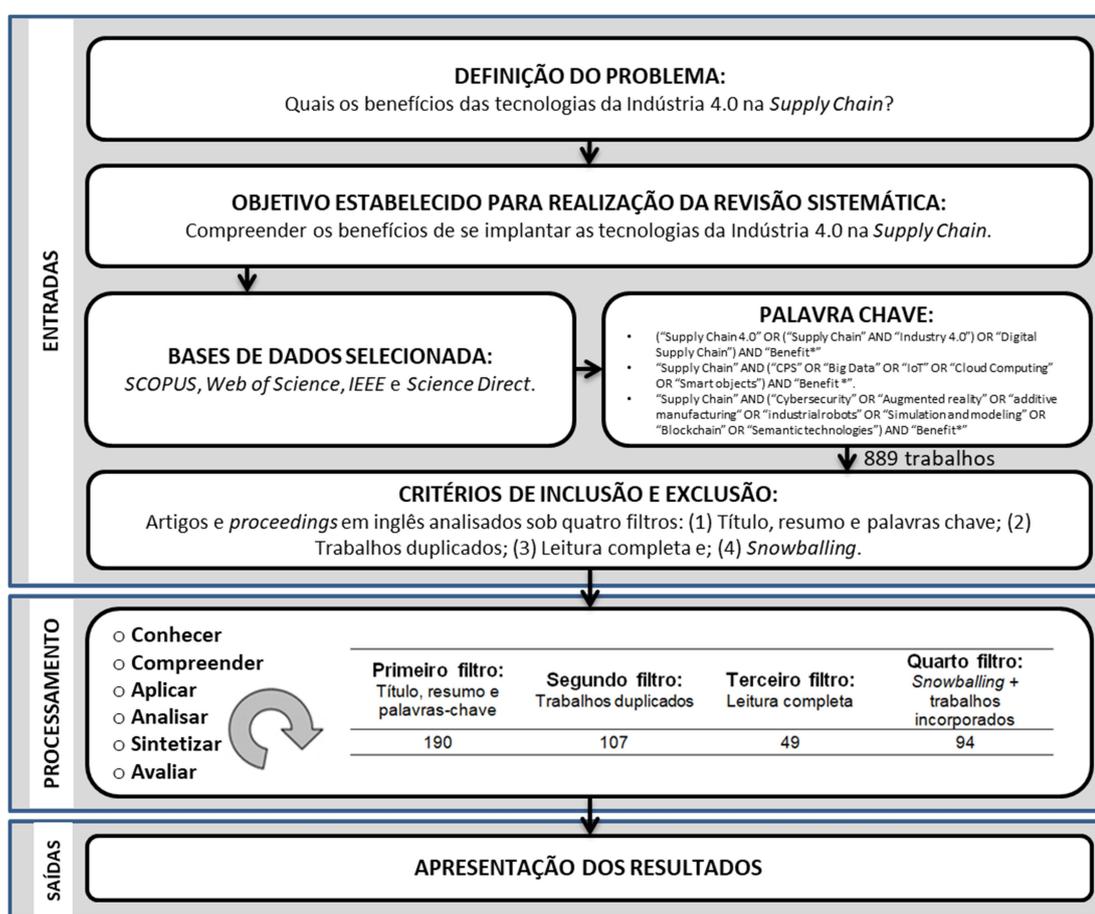


Figura 13: Processo de revisão sistemática da literatura dos benefícios das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain*

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Em cada uma das bases de dados, foram utilizados três conjuntos de palavras-chave específicas de busca, uma vez que duas bases de dados (*Scopus* e *Science Direct*) apresentaram limitações quanto à quantidade de caracteres a serem inseridos.

O primeiro conjunto agrupa e combina a palavra “benefit” (benefício) com palavras referentes ao tema específico da pesquisa (*Supply Chain* e Indústria 4.0, *Supply Chain 4.0* e *Digital Supply Chain*).

Os outros dois conjuntos agrupam e combinam a palavra “benefício” com “*Supply Chain*” e tecnologias da Indústria 4.0, já identificadas no Capítulo 2.

Dessa forma, os três conjuntos de palavras-chave específicas de busca são:

- (“*Supply Chain 4.0*” OR (“*Supply Chain*” AND “*Industry 4.0*”) OR “*Digital Supply Chain*”) AND “*Benefit\**”
- “*Supply Chain*” AND (“*CPS*” OR “*Big Data*” OR “*IoT*” OR “*Cloud Computing*” OR “*Smart objects*”) AND “*Benefit \**”.
- “*Supply Chain*” AND (“*Cybersecurity*” OR “*Augmented reality*” OR “*additive manufacturing*” OR “*industrial robots*” OR “*Simulation and modeling*” OR “*Blockchain*” OR “*Semantic technologies*”) AND “*Benefit\**”

Em seguida, os trabalhos foram analisados por meio de quatro filtros, conforme apresentados na Figura 14: (1) título, resumo e palavras-chave; (2) trabalhos duplicados; (3) leitura completa e; (4) *snowballing*, visando à identificação de novos trabalhos que não estejam dentro das bases de dados analisadas.

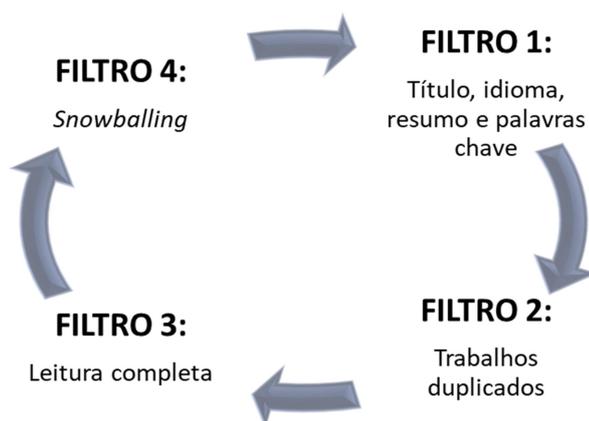


Figura 14: Filtros utilizados para a análise dos trabalhos selecionados

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Adicionalmente, foram considerados cinco critérios para a inclusão ou exclusão de trabalhos; sendo: (1) trabalhos completos nos idiomas inglês e português, e não somente que contenham apenas o título, resumo e palavras-chave; (2) trabalhos que forneçam acesso ao texto completo; (3) trabalhos com cunho acadêmico, profissional ou formal (desconsiderando, por exemplo, prefácios, pontos de vista pessoais, conteúdos informais baseados na internet, entre outros); (4) trabalhos cujo tema se refira à *Supply Chain* 4.0 ou tecnologias relacionadas ao seu contexto, concentrando-se na revisão, pesquisa, discussão ou resolução de problemas relativos à *Supply Chain* dentro do contexto digital; e (5) trabalhos em que as palavras-chave utilizadas nas buscas de documentos sejam foco do trabalho e não apenas uma expressão citada neles.

As buscas nas bases de dados resultaram em um total de 899 trabalhos, conforme a Tabela 1. Seguindo os critérios de inclusão e exclusão, foram identificados 94 trabalhos que apresentam os benefícios das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain*. A Tabela 2 apresenta a quantidade de trabalhos selecionados em cada filtro aplicado.

Tabela 1: Quantidade de trabalhos obtidos em cada busca realizada nas bases de dados

	("Supply Chain 4.0" OR ("Supply Chain" AND "Industry 4.0") OR "Digital Supply Chain") AND "Benefit*"	"Supply Chain" AND ("CPS" OR "Big Data" OR "IoT" OR "Cloud Computing" OR "Smart objects") AND "Benefit*".	"Supply Chain" AND ("Cybersecurity" OR "Augmented reality" OR "additive manufacturing" OR "industrial robots" OR "Simulation and modeling" OR "Blockchain" OR "Semantic technologies") AND "Benefit*"
<b>Scopus</b>	59	156	105
<b>Web of Science</b>	36	124	53
<b>Science Direct</b>	21	31	23
<b>IEEE</b>	63	74	154

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Tabela 2: Resultados das etapas do processo de revisão sistemática da literatura

<b>Primeiro filtro:</b> Título, resumo e palavras-chave	<b>Segundo filtro:</b> Trabalhos duplicados	<b>Terceiro filtro:</b> Leitura completa	<b>Quarto filtro:</b> <i>Snowballing</i> + trabalhos incorporados
190	107	49	94

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Por fim, são apresentados os resultados obtidos por meio do método utilizado, isto é, são apresentados e analisados os benefícios das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain*. Tal apresentação se encontra na Seção 4.2.1.

#### • IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS DESAFIOS DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NA SUPPLY CHAIN

Do mesmo modo como realizado para os benefícios, a Figura 15 apresenta o processo de revisão sistemática da literatura utilizada para a identificação dos desafios das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain*. Foram utilizadas as mesmas quatro bases de dados e, em cada uma delas, os trabalhos foram pesquisados por meio de três conjuntos de palavras-chave específicas de busca.

O primeiro conjunto agrupa e combina a palavra “*challeng*” (desafio) com palavras referentes ao tema específico da pesquisa (*Supply Chain* e Indústria 4.0, *Supply Chain* 4.0 e *Digital Supply Chain*). Já os outros dois conjuntos agrupam e combinam a palavra “desafios” com “*Supply Chain*” e tecnologias da Indústria 4.0.

Dessa forma, os três conjuntos de palavras-chave específicas de busca são:

- (“*Supply Chain* 4.0” OR (“*Supply Chain*” AND “*Industry* 4.0”) OR “*Digital Supply Chain*”) AND “*Challeng*\*”
- “*Supply Chain*” AND (“*CPS*” OR “*Big Data*” OR “*IoT*” OR “*Cloud Computing*” OR “*Smart objects*”) AND “*Challeng*\*”.

- “Supply Chain” AND (“Cybersecurity” OR “Augmented reality” OR “additive manufacturing” OR “industrial robots” OR “Simulation and modeling” OR “Blockchain” OR “Semantic technologies”) AND “Challeng\*”

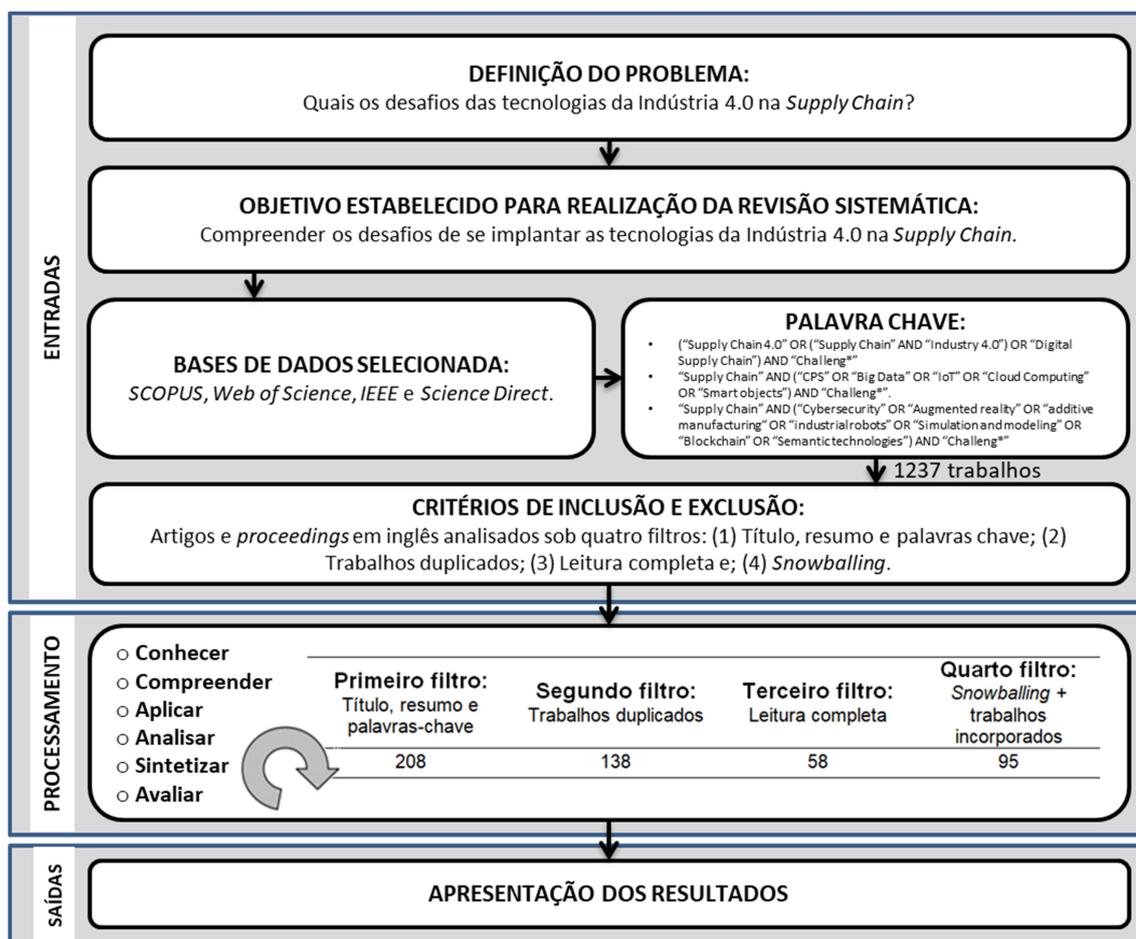


Figura 15: Processo de revisão sistemática da literatura dos desafios das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain*

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Dando a mesma tratativa da etapa anterior, os trabalhos aqui identificados foram analisados por meio de quatro filtros de buscas e sob os cinco critérios de inclusão e exclusão já apresentados.

Ao todo, 1237 trabalhos foram identificados nas buscas das bases de dados, conforme a Tabela 3. Seguindo os critérios de inclusão e exclusão, foram identificados 58 trabalhos que apresentam os desafios das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain*. Adicionalmente, outros 37 trabalhos identificados durante a realização da revisão sistemática da literatura de *Supply*

*Chain* 4.0, apresentado na seção 2.2, foram incorporados no estudo. A Tabela 4 demonstra a quantidade de trabalhos selecionados em cada filtro aplicado.

Tabela 3: Quantidade de trabalhos obtidos em cada busca realizada nas bases de dados

	("Supply Chain 4.0" OR ("Supply Chain" AND "Industry 4.0") OR "Digital Supply Chain") AND "Challeng*"	"Supply Chain" AND ("CPS" OR "Big Data" OR "IoT" OR "Cloud Computing" OR "Smart objects") AND "Challeng*"	"Supply Chain" AND ("Cybersecurity" OR "Augmented reality" OR "additive manufacturing" OR "industrial robots" OR "Simulation and modeling" OR "Blockchain" OR "Semantic technologies") AND "Challeng*"
<b>Scopus</b>	101	227	171
<b>Web of Science</b>	82	210	84
<b>Science Direct</b>	29	35	27
<b>IEEE</b>	106	129	36

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Tabela 4: Resultados das etapas do processo de revisão sistemática da literatura

<b>Primeiro filtro:</b> Título, resumo e palavras-chave	<b>Segundo filtro:</b> Trabalhos duplicados	<b>Terceiro filtro:</b> Leitura completa	<b>Quarto filtro:</b> <i>Snowballing</i> + trabalhos incorporados
208	138	58	95

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Os resultados obtidos por meio do método apresentado nesta etapa se encontram na Seção 4.2.2.

### 3.2.3. ETAPA 3: IDENTIFICAÇÃO DOS BENEFÍCIOS E DESAFIOS PERCEBIDOS PELAS EMPRESAS AO IMPLANTAR AS TECNOLOGIAS ASSOCIADAS À INDÚSTRIA 4.0 NA *SUPPLY CHAIN*

Nesta etapa, uma pesquisa de campo será realizada de modo a indentificar os benefícios e desafios percebidos pelas empresas ao implantar as tecnologias

associadas à Indústria 4.0 na *Supply Chain*. Para isso, 8 subetapas foram executadas, conforme a Figura 16.

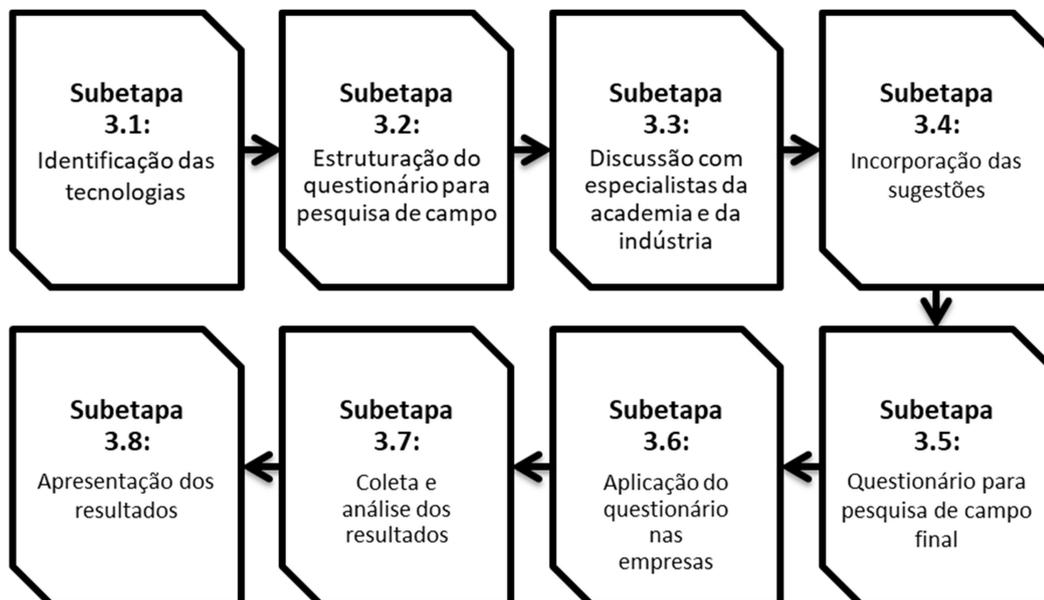


Figura 16: Subetapas da Etapa 3

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Na subetapa 3.1, foram identificadas as tecnologias associadas à Indústria 4.0 que apresentam aplicações na *Supply Chain* por meio da literatura utilizada neste trabalho, conforme o Quadro 1. Vale ressaltar que as tecnologias aqui referidas englobam as tecnologias relativas ao desenvolvimento do conceito Indústria 4.0, bem como demais tecnologias da indústria tradicional. essa identificação foi feita

Já na subetapa 3.2, foi estruturado um questionário preliminar para a realização da pesquisa de campo. Esse questionário tem como objetivos caracterizar a empresa estudada e verificar quais benefícios e desafios são percebidos pelas empresas referente à implantação e uso das tecnologias relativas à Indústria 4.0 e à indústria tradicional na *Supply Chain*.

Quadro 1: Tecnologias com aplicações na *Supply Chain*

TECNOLOGIA	REFERÊNCIAS
<b>Internet das Coisas (IoT)</b>	Agrawal e Das (2011), Buda <i>et al.</i> (2015), Carvalho <i>et al.</i> (2018), Ch e Rao (2018), Chamekh <i>et al.</i> (2017), Das (2015), Dweekat e Park (2017), Farahani <i>et al.</i> (2017), Fukui (2016), Gu (2018), Haddud <i>et al.</i> (2017), He <i>et al.</i> (2010), He <i>et al.</i> (2016), Hiromoto <i>et al.</i> (2017), Kamble <i>et al.</i> (2019b), Khanna e Sharma (2017), Kenny (2017), Klötzer e Pflaum (2015), Kshetri (2017b), Kumar <i>et al.</i> (2017), Lee e Kwon (2016), Lee e Lee (2015), Liang e Pan (2014), López <i>et al.</i> (2012), Luszcz (2017), Mamun <i>et al.</i> (2018), Mostafa <i>et al.</i> (2019), Omitola e Wills (2018), Pearsall (2016), Pishdar <i>et al.</i> (2018), Ray e Bhadra (2016), Ray <i>et al.</i> (2018), Shah e Ververi (2018), Tjahjono <i>et al.</i> (2017), Tu (2018), Uddin e Al Sharif (2016), Urquhart e McAuley (2018), Wazid <i>et al.</i> (2017), Weber (2010), Xu <i>et al.</i> (2013), Wu <i>et al.</i> (2016), Yan <i>et al.</i> (2016), Yang <i>et al.</i> (2015), Yang <i>et al.</i> (2017), Yang <i>et al.</i> (2018), Zhang <i>et al.</i> (2013)
<b>Sistemas Físico-Cibernéticos (CPS)</b>	Buda <i>et al.</i> (2015), Chen (2017), Davies (2015), Harrison <i>et al.</i> (2016), He <i>et al.</i> (2016), Ivanov <i>et al.</i> (2016), Klötzer e Pflaum (2015), Tjahjono <i>et al.</i> (2017), Tu <i>et al.</i> (2018), Zhang <i>et al.</i> (2017)
<b>Big Data</b>	Arya <i>et al.</i> (2017), Alotaibi e Mehmood (2018), Barbosa <i>et al.</i> (2018), Benabdellah <i>et al.</i> (2016), Buda <i>et al.</i> (2015), Carvalho <i>et al.</i> (2018), Choi <i>et al.</i> (2018), Davies (2015), Farahani <i>et al.</i> (2017), Fukui (2016), Hallman <i>et al.</i> (2014), He <i>et al.</i> (2014), Hofmann e Rutschmann (2018), Hopkins e Hawking (2018), Isasi <i>et al.</i> (2015), Ittmann (2015), Jeske <i>et al.</i> (2013), Kache e Seuring (2015), Kynast e Marjanovic (2016), Lamba e Singh (2017), Leveling <i>et al.</i> (2014), Li <i>et al.</i> (2018), Lu <i>et al.</i> (2013), Ma <i>et al.</i> (2015), Mikavic <i>et al.</i> (2015), Ong <i>et al.</i> (2016), Pearson <i>et al.</i> (2014), Queiroz e Telles (2018), Ranjan <i>et al.</i> (2016), Richey Jr <i>et al.</i> (2016), Roßmann <i>et al.</i> (2018), Russo <i>et al.</i> (2015), Sanders (2016), Singh <i>et al.</i> (2017), Tjahjono <i>et al.</i> (2017), Wang <i>et al.</i> (2016), Wu <i>et al.</i> (2016), Zhong <i>et al.</i> (2016)
<b>Blockchain</b>	Banerjee (2018), Casey e Wong (2017), Clancy (2017), Holland <i>et al.</i> (2018), Kamble <i>et al.</i> (2019a), Kshetri (2017a), Kshetri (2017b), Kshetri (2018), Kim e Laskowski (2018), Mylrea e Gourisetti (2018), Wang <i>et al.</i> (2019)
<b>Identificação por radiofrequência (RFID)</b>	Burmester <i>et al.</i> (2017), Carvalho <i>et al.</i> (2018), Chamekh <i>et al.</i> (2017), Chen <i>et al.</i> (2017), Fraj <i>et al.</i> (2017), Gu (2018), Kapoor <i>et al.</i> (2011), Lamba e Singh (2017), López <i>et al.</i> (2012), Mamun <i>et al.</i> (2018), Moniem <i>et al.</i> (2017), Qian <i>et al.</i> (2018), Ray <i>et al.</i> (2015), Tjahjono <i>et al.</i> (2017), Wang <i>et al.</i> (2017), Wu <i>et al.</i> (2016), Yang <i>et al.</i> (2018).
<b>Sistema de Gerenciamento de Armazém (WMS)</b>	Ballou (2006), Coriguazi (2018), Cui (2015), Figueiredo <i>et al.</i> (2007), Kong <i>et al.</i> (2015), Liang e Pan (2014), Shiau e Lee (2010), Stoltz <i>et al.</i> (2017).
<b>Roteirização</b>	Coriguazi (2018), Figueiredo <i>et al.</i> (2007).
<b>Exoesqueleto</b>	Coriguazi (2018), Fraunhofer (2017), Xie <i>et al.</i> (2014), Zhu e Zhou (2012).
<b>Robôs industriais</b>	Büyükoçkan e Göçer (2018), Davies (2015), Farahani <i>et al.</i> (2017), Tjahjono <i>et al.</i> (2017)
<b>Sistema automático de armazenagem e coleta</b>	Coriguazi (2018), Huang <i>et al.</i> (2015), Rathore <i>et al.</i> (2015)
<b>Gestão de Relacionamento com o Cliente (CRM)</b>	Coriguazi (2018), VDE (2014)
<b>Planejamento dos recursos empresariais (ERP)</b>	Bienhaus, e Haddud (2018), Coriguazi (2018), Cui (2015), Evdokimov <i>et al.</i> (2011), Lamba e Singh (2017), Qureshi <i>et al.</i> (2017), Ranjan <i>et al.</i> (2016), Trstenjak e Cosic (2017), Tu <i>et al.</i> (2018), VDE (2014)
<b>Sistema de Execução de Manufatura (MES)</b>	Coriguazi (2018), Tu <i>et al.</i> (2018), VDE (2014)
<b>Intercâmbio Eletrônico de Dados (EDI)</b>	Carvalho <i>et al.</i> (2018), Coriguazi (2018), Cui (2015), Lamba e Singh (2017)

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Quadro 1: Tecnologias com aplicações na *Supply Chain* (continuação)

TECNOLOGIA	REFERÊNCIAS
<b>Realidade aumentada</b>	Büyüközkan e Göçer (2018), Coriguazi (2018), Davies (2015), Farahani <i>et al.</i> (2017), Stoltz <i>et al.</i> (2017)
<b>Computação em nuvem</b>	Büyüközkan e Göçer (2018), Davies (2015), Farahani <i>et al.</i> (2017), Ferrer <i>et al.</i> (2016), Kong <i>et al.</i> (2015), Qureshi <i>et al.</i> (2017), Raj e Sharma (2014), Röschinger <i>et al.</i> (2016), Tjahjono <i>et al.</i> (2017)
<b>Veículos inteligentes/ autônomos</b>	Büyüközkan e Göçer (2018)
<b>Veículos guiados automaticamente (AGV's)</b>	Beinschob <i>et al.</i> (2017), Büyüközkan e Göçer (2018), Florian <i>et al.</i> (2011), Sabbatini <i>et al.</i> (2013), Tsolakis <i>et al.</i> (2019), Zhang <i>et al.</i> (2017)
<b>Manufatura aditiva</b>	Büyüközkan e Göçer (2018), Davies (2015), Farahani <i>et al.</i> (2017), Holmström e Gutowski (2017), Li <i>et al.</i> (2017), Martinelli e Christopher (2019), Liu <i>et al.</i> (2014), Mashhadi <i>et al.</i> (2015), Mohr e Khan (2015), Nyman e Sarlin (2014), Savastano <i>et al.</i> (2016), Shah <i>et al.</i> (2017), Tjahjono <i>et al.</i> (2017), Tziantopoulos <i>et al.</i> (2019),
<b>Simulação e modelamento</b>	Davies (2015), Tjahjono <i>et al.</i> (2017), Tsolakis <i>et al.</i> (2019)
<b>Omni Channel</b>	Büyüközkan e Göçer (2018), Caro e Sadr (2019), Kraemer (2015)

Fonte: elaborado pelo próprio autor

A seguir, o questionário passou por avaliação de profissionais da academia e da indústria com grande conhecimento na área de modo a torná-lo mais preciso e eficiente (subetapa 3.3). Dois profissionais da academia com ampla experiência e conhecimentos em *Supply Chain* e Indústria 4.0 e um da indústria com mais de oito anos de atuação na área contribuíram com sugestões referentes às tecnologias e a forma de apresentação do questionário.

Tais sugestões foram incorporadas ao questionário preliminar (subetapa 3.4), obtendo-se, desta forma, o questionário final para aplicação na pesquisa de campo (subetapa 3.5), apresentado no apêndice A.

Na subetapa 3.6, foram conduzidas aplicações em empresas de modo a identificar essas percepções positivas e negativa. Para isso, o questionário foi encaminhado a gestores que compõe a função *Supply Chain* de empresas de setores como o automotivo, metalúrgico, agroindustrial, construção civil, papel e embalagem e varejista.

Por fim, os dados das aplicações foram coletados e analisados (subetapa 3.7), e os resultados obtidos apresentados (subetapa 3.8). Esta etapa se encontra na seção 4.3 deste trabalho.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos com base no método proposto, isto é, são apresentados os impactos das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain*, bem como as percepções das empresas quanto a esses impactos ao integrar as tecnologias na sua *Supply Chain*.

### **4.1. CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO**

A contribuição do trabalho baseia-se na identificação e sistematização dos benefícios e desafios das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain*, suprimindo a lacuna identificada por Tjahjono *et al.* (2017) que citam essa falta de consenso e clareza. Por meio de revisões sistemáticas da literatura, foram identificados vinte benefícios e vinte desafios referentes à inserção das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain*.

Adicionalmente, é apresentado um estudo de campo objetivando captar as percepções das empresas quanto a esses benefícios e desafios referentes às tecnologias da indústria tradicional e da Indústria 4.0 na *Supply Chain*, identificando os mais relevantes e evidenciando o alinhamento entre a teoria e a prática.

### **4.2. IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS E DESAFIOS DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NA SUPPLY CHAIN**

A seguir, são apresentados os resultados obtidos em relação à identificação dos benefícios e desafios das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain*. Para isso, foi utilizado o método de revisão sistemática da literatura proposto por Levy e Ellis (2006), conforme apresentado e detalhado na seção 3.2.2.

#### 4.2.1. BENEFÍCIOS DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NA *SUPPLY CHAIN*

Por meio da análise dos 94 artigos e *proceedings* identificados, observa-se que a temática “benefícios” dentro do contexto da *Supply Chain* 4.0 vem ganhando cada vez mais destaque, com maior volume de publicações nos anos de 2016 a 2018, conforme apresentado na Tabela 5. Estes números demonstram o crescente interesse em relação às oportunidades que o uso das tecnologias viabilizadas pela Indústria 4.0 pode oferecer às empresas.

Tabela 5: Quantidade de trabalhos publicados por ano que apresentam os benefícios das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain*

Ano de publicação	Total de trabalhos publicados
2010	2
2011	2
2012	1
2013	4
2014	9
2015	11
2016	19
2017	20
2018	19
2019	7

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Ao todo, foram identificados vinte benefícios, conforme apresentado no Quadro 2. São eles: melhor tomada de decisão; eficiência operacional / redução de custos operacionais; transparência / visibilidade; segurança de dados; planejamento, monitoramento e/ou controle em tempo real; melhor serviço ao cliente; acuracidade de dados / informação; mensuração / redução de riscos; análise preditiva e/ou prescritiva de dados; confiabilidade; flexibilidade; integração da *Supply Chain*; lucro; novos modelos de negócio; automação; benefícios ambientais; maior inteligência em atividades do *marketing*; melhor previsão de demanda; redução na complexidade em gerenciar a *Supply Chain* e; Redução no *time-to -market*.





Quadro 2: Benefícios da implantação das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain* (continuação)

Benefício \ Autor	Shah et al. (2017)	Singh et al. (2017)	Srinivasan et al. (2017)	Stoltz et al. (2017)	Tijan et al. (2019)	Tjahjono et al. (2017)	Tsolakis et al. (2019)	Tu et al. (2018)	Uddin e Al Sharif (2016)	Wang et al. (2016)	Wang et al. (2017)	Wang et al. (2019)	Xu et al. (2013)	Yan et al. (2016)	Yu e Wang (2016)	Zhang et al. (2013)	Zhang et al. (2017)	Zhou et al. (2015)
Eficiência operacional / Redução de custos operacionais	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	
Flexibilidade				x		x												
Automação																		
Confiabilidade				x														
Lucro																		
Transparência / Visibilidade			x		x							x	x	x		x		
Melhor integração da SC															x			
Novos modelos de negócio	x																	
Redução na complexidade da gestão da cadeia de suprimento																		
Mensuração / redução de riscos							x											x
Segurança de informação / pessoas / recursos				x	x			x				x						
Benefícios ambientais							x											
Melhor tomada de decisão						x				x			x					
Planejamento, monitoramento e/ou controle em tempo real								x			x		x	x		x		x
Melhor previsão de demanda													x	x		x		
Acuracidade no dados / na informação						x							x	x		x		
Melhor serviço ao cliente / Aumento da Satisfação	x	x				x									x			
Análise preditiva e/ou prescritiva									x									x
Maior inteligência em atividades do marketing																		
Redução do time-to-market																		

Fonte: elaborado pelo próprio autor

O Quadro 3 apresenta o percentual de citações de cada benefício identificado. É observado que os cinco benefícios mais citados na literatura são: (1) aumento da eficiência operacional / redução dos custos operacionais; (2) transparência / visibilidade; (3) planejamento, monitoramento e/ou controle em tempo real; (4) melhor tomada de decisão e; (5) melhor integração da *Supply Chain*.

Quadro 3: Percentual de citações dos benefícios identificados na literatura

<b>Benefício</b>	<b>Percentual</b>
Eficiência operacional / Redução de custos operacionais	81%
Transparência / Visibilidade	44%
Planejamento, monitoramento e/ou controle em tempo real	37%
Melhor tomada de decisão	33%
Melhor integração da SC	28%
Melhor serviço ao cliente / Aumento da Satisfação	23%
Mensuração / redução de riscos	20%
Flexibilidade	18%
Acuracidade dos dados / da informação	14%
Segurança de informação / pessoas / recursos	14%
Melhor previsão de demanda	13%
Análise preditiva e/ou e prescritiva	13%
Novos modelos de negócio	12%
Benefícios ambientais	11%
Automação	10%
Confiabilidade	9%
Lucro	5%
Maior inteligência em atividades do <i>marketing</i>	5%
Redução na complexidade da gestão da cadeia de suprimento	4%
Redução do <i>time-to-market</i>	1%

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Em função da maneira com que cada benefício identificado impacta a *Supply Chain*, estes foram agrupados em três macrogrupos diferentes, conforme apresentado na Figura 17: (1) benefícios estratégicos; (2) benefícios gerenciais e; (3) benefícios operacionais.

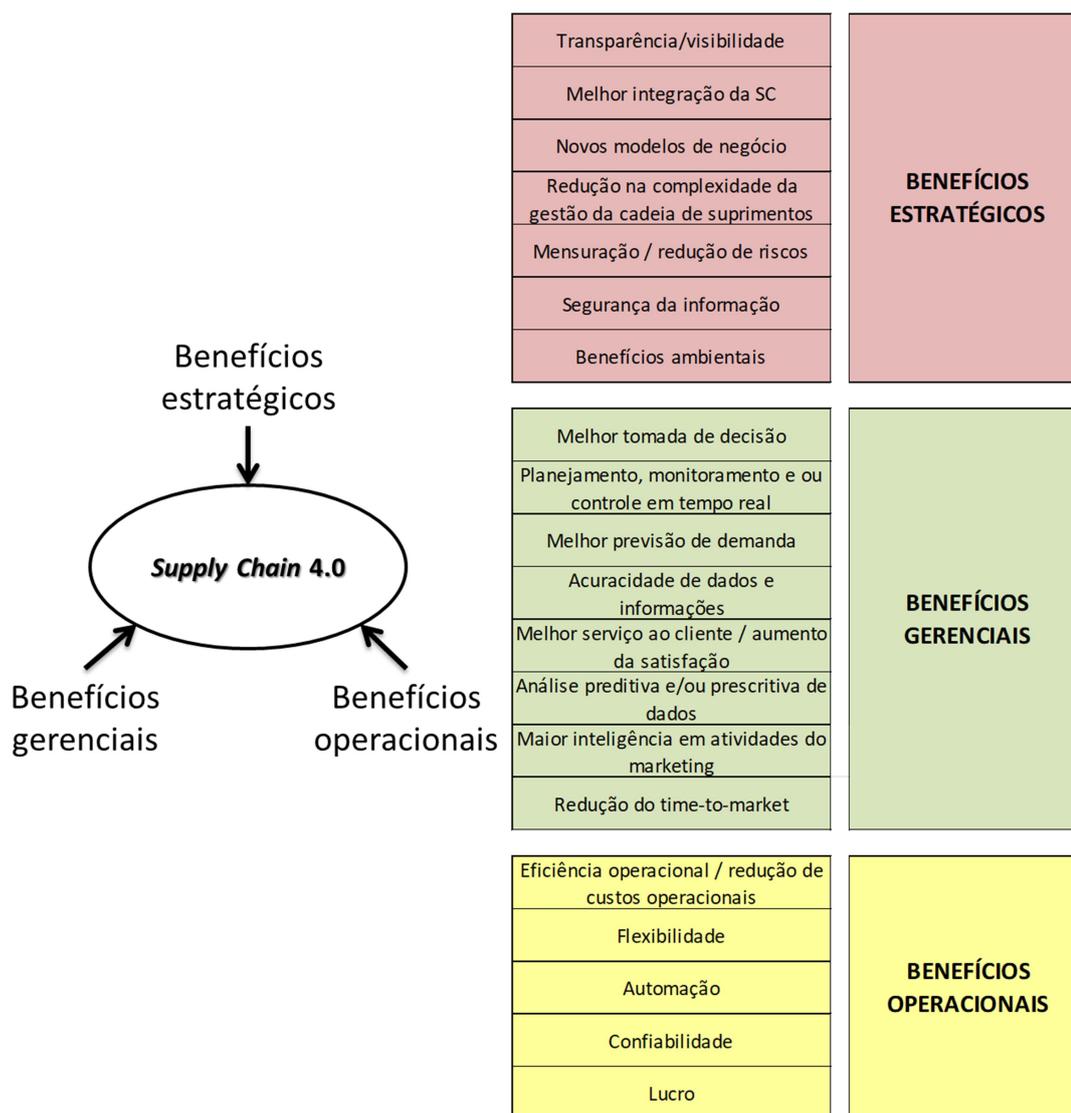


Figura 17: Classificação dos benefícios da *Supply Chain 4.0*

Fonte: elaborado pelo próprio autor

As tecnologias da Indústria 4.0, no contexto geral, apresentam potenciais para mudar a forma de como a função *Supply Chain* – bem como as demais funções – executa suas atividades internas e externas. Isso se deve à digitalização das atividades, promovendo maior visibilidade, automação e integração, conforme

apontam Hanifan *et al.* (2014) e Raab e Griffin-Cryan (2011). Adicionalmente, observam-se benefícios em termos de eficiência e inteligência em todas as funções da *Supply Chain*:

- Previsão: Melhorias nos processos de previsão em todos os níveis - estratégico, tático e operacional (HOFMANN e RUTSCHMANN, 2018).
- Aquisição: Apoio diário nas tarefas administrativas e de negócios, se tornando uma interface estratégica para apoiar a eficiência, eficácia e lucratividade da organização (BIENHAUS e HADDUD, 2018). Aqui, a visibilidade permite também reduzir os níveis de estoques (JIT sourcing) e os riscos das operações (SCHMIDT *et al.*, 2015)
- Manufatura: Uso da automação nas atividades repetitivas. Tecnologias permitem maior flexibilidade e eficiência no uso dos recursos (BÄR *et al.*, 2018). A análise dos dados gerados permite reduzir os tempos de produção por meio da melhor colaboração entre planejamento e execução da produção (LAZAROVA-MOLNAR *et al.*, 2018).
- Distribuição: melhorias na colaboração das atividades logísticas e no relacionamento e atendimento das necessidades de clientes (LAZAROVA-MOLNAR *et al.*, 2018), reduzindo os impactos ambientais de caminhos e melhorando estratégias de previsão de manutenção e segurança de motoristas (HOPKINS e HAWKING, 2018).
- Vendas e marketing: Permite o estreitamento das relações entre empresa e cliente, com capacidade de melhor entender suas necessidades para prover um melhor serviço (ITTMAN, 2015), identificar preferências e padrões relativos aos clientes (KYNAST e MARJANOVIC, 2016) e tomar melhores decisões de preço baseados na concorrência (MORETTO *et al.*, 2017).

Em seu trabalho, Dalmarco e Barros (2018) explicam a relação entre as tecnologias dentro da *Supply Chain*. Segundo os autores, as tecnologias possuem diferentes locais de adoção e aplicação na *Supply Chain*, sendo: tecnologias responsáveis por atualizar a manufatura, por conectar a manufatura às plataformas *online* e por otimizar a operação global da *Supply Chain*.

Tecnologias como Manufatura Aditiva, Robôs Industriais, Tecnologias Semânticas e Sistemas Físico-Cibernéticos fazem parte da atualização da manufatura de cada empresa e tem como objetivo aumentar a flexibilidade, apoiar e otimizar processos e habilitar a comunicação com parceiros. Adicionalmente, os Sistemas Físico-Cibernéticos integram a manufatura às plataformas *online*, disponibilizando as informações e habilitando a otimização do desempenho global da *Supply Chain* por meio das tecnologias Internet das Coisas, *Big Data* e Computação em nuvem (DALMARCO e BARROS, 2018).

- Manufatura Aditiva:

Por meio da Manufatura aditiva, empresas podem reduzir os tempos de operação e entrega (MARTINELLI e CHRISTOPHER, 2019), aumentando a capacidade de resposta (SHAH *et al.*, 2017). Adicionalmente, Shah *et al.* (2017) e Savastano *et al.* (2016) observam que a tecnologia aumenta a flexibilidade em termos de localização da produção (descentralização) e tamanho do lote, e Liu *et al.* (2014), destacam o ganho potencial na redução dos níveis de estoque. O benefício mais identificado nesta tecnologia, no entanto, está no impacto ambiental (HOLMSTRÖM e GUTOWSKI, 2017; MASHHADI *et al.*, 2015; SAVASTANO *et al.*, 2016; LI *et al.*, 2017; NYMAN e SARLIN, 2014), uma vez observado que o recondicionamento de produtos o em uso e a redução nas perdas de materiais, no consumo de energia e combustível e nas emissões de poluentes podem ser alcançados.

- Realidade Aumentada:

No sentido de apoiar e otimizar os processos fabris, a tecnologia Realidade Aumentada é abordada por Stoltz *et al.* (2017). Com foco nas operações de armazenagem, foi observada a possibilidade da tecnologia em reduzir os erros e aumentar a confiabilidade e agilidade das atividades. Adicionalmente, a tecnologia apresenta flexibilidade na sua aplicação – considerando aspectos como *layout* e acessibilidade para pessoas com deficiências -, bem como segurança ao operador.

- Simulação e modelamento:

No ambiente fabril, Tsolakis *et al.* (2019) traz a Simulação como ferramenta para avaliar a operação de veículos inteligentes autônomos, trazendo ganhos em termos de tempo e custo no desenvolvimento e aplicação da tecnologia, minimizando riscos e melhor avaliando cenários e identificando oportunidades para melhorias no layout da produção.

- Sistemas Físico-Cibernéticos:

Os Sistemas Físico-Cibernéticos contribuem para o alinhamento dos fluxos de informação e material, promovendo redução nos custos e erros de fabricação e tempo de operações (TU *et al.*, 2018). Klötzer e Pflaum (2015) e Reddy *et al.* (2016) adicionam como benefícios dessa tecnologia o aumento da flexibilidade, visibilidade e eficiência - tanto energética quanto no uso de recursos. No que se refere ao manuseio de materiais, atividade cuja eficiência tem sido o gargalo na fabricação, Zhang *et al.* (2017) provam que ganhos podem ser obtidos em modelos baseados em Sistemas Físico-Cibernéticos.

- Computação em Nuvem:

A Computação em Nuvem viabiliza as empresas a compartilhar informações em uma plataforma única, gerando visibilidade global das atividades da *Supply Chain* (QURESHI *et al.*, 2017), reduzindo sua complexidade e aumentando a agilidade (RAJ e SHARMA, 2014) e a conectividade – gerando maior colaboração entre clientes e fornecedores (RÖSCHINGER *et al.*, 2016).

- *Blockchain*:

A *Blockchain* traz como benefícios para a *Supply Chain* a possibilidade de coletar, rastrear e compartilhar informações em tempo real (KAMBLE *et al.*, 2019a; KIM e LASKOWSKI, 2018), conferindo às informações segurança (KSHETRI, 2017) e habilitando qualquer membro auditá-las (HUGHES *et al.*, 2019). Essa tecnologia descentralizada traz confiabilidade nas transações

(TIJAN *et al.*, 2019) e reduz a necessidade de conferência, aumentando, também, o desempenho dos processos (WANG *et al.*, 2019).

- Internet das Coisas:

Ao analisar os artigos que destacam os benefícios da tecnologia Internet das Coisas na *Supply Chain*, é possível identificar os três principais benefícios, cada um pertencente a um distinto macrogrupo:

- Eficiência operacional / redução dos custos operacionais (Macrogrupo Benefícios operacionais - abordado em 89% dos trabalhos);
- Transparência / visibilidade (Macrogrupo Benefícios estratégicos - abordado em 61% dos trabalhos);
- Planejamento, monitoramento e/ou controle em tempo real (Macrogrupo Benefícios gerenciais - abordado em 61% dos trabalhos)

Conforme identificado e sumarizado no Quadro 4, autores como Dweekat e Park (2016) e Kamble *et al.* (2019b) observam; por meio da aplicação da Internet das Coisas, o aumento da capacidade de resposta das operações no que diz respeito à adaptação às disrupções da *Supply Chain*. Isso se deve à geração e compartilhamento de dados em tempo real (HADDUD *et al.*, 2017).

Essa efetividade na comunicação traz como resultado o aumento da confiabilidade das atividades (DWECKAT e Park, 2016; HADDUD *et al.*, 2017), maior integração e colaboração entre parceiros e funções (DWECKAT *et al.*, 2017; HADDUD *et al.*, 2017; MOSTAFA *et al.*, 2019), redução de impactos ambientais (HE *et al.*, 2010) e, como consequência, maior retorno financeiro (SHAH e VERVERI, 2018).

A tecnologia também permite melhor mensurar os riscos (HE *et al.* 2010; KAMBLE *et al.*, 2019b), e prever a demanda (HADDUD *et al.*, 2017; MOSTAFA *et al.*, 2019) de forma mais eficiente. Todos esses benefícios impactam no melhor atendimento e melhor serviço aos clientes, conforme apontam Haddud *et al.* (2017), He *et al.* (2010) e Mostafa *et al.* (2019).

Quadro 4: Síntese dos benefícios da Internet das Coisas na *Supply Chain*

Autor	Benefícios identificados
Caro e Sadr (2019)	A <i>IoT</i> pode desempenhar papel fundamental no varejo <i>Omnichannel</i> no que se refere à integração dos canais (físicos e virtuais), permitindo o equilíbrio entre essas partes.
Dweekat e Park (2016)	A <i>IoT</i> pode viabilizar à <i>SC</i> : (1) maior confiabilidade, permitindo a visibilidade de objetos e a troca de informações em tempo real, (2) melhor capacidade de resposta, reduzindo custos de operação e facilitando a otimização dos processos de negócios, (3) melhor gerenciamento e monitoramento dos recursos da <i>SC</i> , (4) maior agilidade da <i>SC</i> .
Dweekat <i>et al.</i> (2017)	Visibilidade dos dados, coletados e processados em tempo real, trazem maior eficiência e agilidade nas atividades e integração entre membros da <i>SC</i> . O uso da <i>IoT</i> na mensuração do desempenho da <i>SC</i> permite conectar métricas e estratégia.
Evdokimov <i>et al.</i> (2011)	Benefícios identificados nos estudos de caso devido adoção do <i>RFID</i> na <i>SC</i> são: melhor serviço aos clientes, otimização das operações, maior colaboração interorganizacional e menor complexidade no gerenciamento de atividades.
Haddud <i>et al.</i> (2017)	Fatores críticos de sucesso da integração da <i>IoT</i> na <i>SC</i> identificados são: (1) maior flexibilidade dos sistemas de produção; (2) eficiência e sincronização das atividades e processos, (3) transparência e visibilidade, (4) confiabilidade e responsividade, (5) melhor previsão de demanda, (6) desenvolvimento de fornecedores confiáveis, automação de decisões e análises preditivas para reação às demandas do mercado.
He <i>et al.</i> (2010)	Visibilidade total em tempo real de objetos inteligentes, permitindo à <i>SC</i> obter maior eficiência econômica e ambiental, reduzindo os custos e riscos das operações e melhor atendendo os requisitos dos clientes.
Kamble <i>et al.</i> (2019b)	Aumento no desempenho e na visibilidade das operações, ganho na velocidade de adaptação às mudanças na dinâmica da <i>SC</i> e redução nos custos e riscos.
Khanna e Sharma (2017)	Redução de custos das operações, melhores tomadas de decisões em área como marketing, gerenciamento de armazéns e produção devido transparência de informações em tempo real, melhor comunicação entre clientes e fornecedores e automação de atividades.
Liang e Pan (2014)	Melhorias na função armazenamento corporativo, otimização dos processos e melhor atendimento às demandas dos clientes.
López <i>et al.</i> (2012)	Monitoramento de objetos em tempo real ao longo de toda a <i>SC</i> .
Mostafa <i>et al.</i> (2019)	Uso da <i>IoT</i> nas funções da <i>SC</i> promovem: (1) aumento da eficiência nos processos de produção, gestão de inventários e transportes, (2) aumento na segurança das informações e dos funcionários, (3) maior integração entre os membros da <i>SC</i> devido aumento da visibilidade e transparência das informações (4) melhor tomada de decisão, previsão da demanda e serviço aos clientes.
Pearsall (2016)	Maior coleta e compartilhamento de dados em tempo real, fornecendo um olhar contínuo para a eficácia e eficiência de todos os processos e auxiliando nas tomadas de decisão referentes às disrupções da <i>SC</i> .
Shah e Ververi (2018)	Aumento da competitividade e desenvolvimento de novas formas de comunicação, promovendo melhoria nos serviço de entrega, lucros financeiros, redução de custos, minimização de desperdícios e monitoramento de equipamentos.
Srinivasan <i>et al.</i> (2017)	Melhorias nos processos de armazenamento, rastreamento, distribuição e monitoramento de produtos agrícolas perecíveis do dia a dia.
Uddin e Al Sharif (2016)	No segmento de peças de reposição, decisões logísticas e predição do nível ótimo de produção podem ser melhor controlados e otimizados, reduzindo os custos totais das operações.
Xu <i>et al.</i> (2013)	Aprimoramento da visibilidade da <i>SC</i> , permitindo o rastreo das entregas em tempo real e aprimorando a precisão dos dados e a tomada de decisão em todos os estágios da <i>SC</i> .

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Quadro 4: Síntese dos benefícios da Internet das Coisas na *Supply Chain* (continuação)

Autor	Benefícios identificados
Yan et al. (2016)	Tecnologia apresentada como solução eficiente aos problemas relacionados ao compartilhamento de informações no setor agrícola, oferecendo fluxos de informações em tempo real e possibilitando melhor tomada de decisão.
Zhang et al. (2013)	Impacto positivo no compartilhamento de informações em tempo real e com maior acuracidade. Essa transparência nas informações reflete na maior eficiência operacional nas atividades (menores níveis de estoque e no efeito chicote).

Fonte: elaborado pelo próprio autor

- **Big Data:**

O *Big Data* é a tecnologia mais estudada em relação aos benefícios gerados à *Supply Chain*. No macrogrupo Benefícios Estratégicos, a visibilidade dada pelo *Big Data* é ressaltada nos processos de manufatura e fluxos de fornecimento (HOFMANN e RUTSCHMANN, 2018), permitindo melhor integrar os membros da *Supply Chain* (ITTMANN, 2015), reduzir os riscos de suas atividades (MIKAVICA et al., 2015; ROßMANN et al., 2018; SANDERS, 2016) e apoiar as tomadas de decisões complexas (LEVELING et al., 2014).

Russo et al. (2015) também discorrem que a visibilidade das informações favorecem atividades de aquisição (por meio do uso de dados provenientes de varejistas, transportadores, fabricantes, fornecedores e também de eventos externos - como congestionamentos de trânsito, condições meteorológicas, restrições rodoviárias - permitindo melhor tomada de decisão), no gerenciamento de armazéns (possibilitando que a empresa deixe de olhar apenas para o que ocorreu no passado e passe a considerar também o que pode acontecer no futuro) e na logística (otimizando no processos de roteamento e na identificação de acidentes, congestionamentos ou incidentes).

Com o aumento do desempenho de *hardwares*, tecnologias como o *Big Data* podem estender a captura e análise de dados para fora das fronteiras das empresas, criando novas formas de adquirir e disseminar informações e de promover produtos (JHA et al., 2016). Assim, novas direções estratégicas e

modelos de negócio se abrem às empresas (BENABDELLAH *et al.*, 2016; KYNAST e MARJANOVIC, 2016).

Trabalhos ainda consideram que a tecnologia aumenta a segurança dos motoristas durante as operações logísticas (HOPKINS e HAWKING, 2018), das atividades (MIAO e ZHANG, 2014) e dos dados (RICKEY JR. *et al.*, 2016), bem como reflete no impacto sustentável (HOPKINS e HAWKING, 2018; RAMANATHAN *et al.*, 2017)

Já no macrogrupo Benefícios Gerenciais, a melhor tomada de decisão é evidenciada por mais da metade dos trabalhos. Esse fato faz com que o *Big Data* seja alvo da atenção da alta gerência (HAHN e PACKOWSKI 2015), uma vez verificada a capacidade da tecnologia em monitorar e analisar as operações (CHAKROUN *et al.*, 2018; KYNAST e MARJANOVIC, 2016; MA *et al.*, 2015), detectando e prevendo interrupções no fornecimento em tempo real de modo a viabilizar uma resposta mais ágil e eficaz (HE *et al.*, 2014).

Levando em consideração as técnicas de análise de dados do *Big Data*, benefícios identificados pelos autores na *Supply Chain* se apresentam na melhor previsão da demanda, entendendo suas percepções e melhor atendendo suas necessidades (BARBOSA *et al.*, 2018; BENABDELLAH *et al.*, 2016; LI *et al.*, 2018; RANJAN *et al.*, 2016), bem como projetando e desenvolvendo parceiros e processos (GUNASEKARAN *et al.*, 2018), aumentando a inteligência do *marketing* (ITTMANN, 2015; MA *et al.*, 2015, SANDERS, 2016) e atendendo a necessidade de produção com os recursos disponíveis (MIKAVICA *et al.*, 2015). Moretto *et al.* (2017) identificam benefícios referentes à seleção do fornecedor e na redução de gastos desse departamento. Nessa relação entre fornecedor e empresa, o *Big data* também pode fornecer informações para melhor gerenciar e monitorar contratos complexos, e permitir melhor negociação e poder de barganha. Hopkins e Hawking (2018) destacam, por fim, o uso da análise dos dados em prol da manutenção preditiva e proativa de caminhões que compõem as frotas.

Inserido no macrogrupo Benefícios Operacionais, a eficiência operacional e redução dos custos operacionais é o benefício mais citado, resultado da redução de inventários armazenados que levam a gastos desnecessários (ARYA *et al.*, 2017; MA *et al.*, 2015) e pelo melhor uso do espaço, pelo monitoramento (CHAKROUN *et al.*, 2018; KYNAST e MARJANOVIC, 2016) e pelo uso eficiente dos recursos (BARBOSA *et al.*, 2018). Hofmann e Rutschmann (2018) destacam que a tecnologia permite sequenciar e planejar a produção de forma a criar um processo mais responsivo, eficiente e ágil. Esse benefício, conforme observa Ittman (2015), se estende nas diversas áreas da *Supply Chain* e propicia maior geração de lucro. Adicionalmente, Gunasekaran *et al.* (2018) e Hofmann e Rutschmann (2018) apontam a melhoria na flexibilidade dos processos e Kynast e Marjanovic (2016) destacam as decisões automatizadas baseadas nas informações em tempo real.

No Quadro 5, os benefícios da inserção do *Big Data* na *Supply Chain* identificados na literatura são sumarizados.

Quadro 5: Síntese dos benefícios do Big Data na *Supply Chain*

Autor	Benefícios identificados
Arya <i>et al.</i> (2017)	A cadeia logística militar pode se beneficiar da maior visibilidade de estoque e fornecimento, bem como da redução de inventários armazenados. Previsões mais eficazes trazem potencial ganho na confiabilidade de missões e na disponibilidade de armas por meio de previsões mais eficazes.
Barbosa <i>et al.</i> (2018)	Benefícios do <i>Big Data analytics</i> identificados no trabalho: melhoria na previsão da demanda, uso eficiente dos recursos da SC e melhoria na comunicação.
Benabdellah <i>et al.</i> (2016)	Capacidade de fornecer previsões precisas de demanda e de entender as percepções dos clientes, bem como de possibilitar a customização dos serviços e a estruturação de novos modelos de negócios. Redução nos riscos de investimento em infraestrutura e de capacidades externas contratadas.
Chakroun <i>et al.</i> (2018)	Melhor gerenciamento dos recursos de armazéns, no uso do espaço e no monitoramento das operações, otimizando custos, desempenhos e permitindo melhores tomadas de decisões.
Gunasekaran <i>et al.</i> (2018)	Aumento da eficiência e da flexibilidade da produção, viabilizando melhor previsão da demanda de produtos.
Hahn e Packowski (2015)	Maior poder de tomada de decisão nas atividades da SC.
He <i>et al.</i> (2014)	Melhores tomadas de decisões são alcançadas por meio da detecção e predição de interrupções no fornecimento.
Hofmann e Rutschmann (2018)	Integração da SC de forma completa, criando um processo mais responsivo, eficiente e ágil, bem como permitindo a redução dos custos operacionais.

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Quadro 5: Síntese dos benefícios do *Big Data* na *Supply Chain* (continuação)

Autor	Benefícios identificados
Hopkins e Hawking (2018)	Redução nos custos das operações e melhoria nas rotas dos caminhões. O <i>Big Data</i> também auxilia nas estratégias de manutenção preditiva / proativa e de melhoria da segurança dos motoristas.
Ittmann (2015)	Eficiência operacional nas diversas áreas da <i>SC</i> , propiciando maior geração de lucro por meio da otimização dos preços. A visibilidade das informações melhora a integração dos membros da <i>SC</i> , levando à redução dos riscos de suas atividades. Citem-se, ainda, a antecipação dos volumes de vendas, melhorias na previsão da demanda e aumento da inteligência das atividades de marketing.
Jeske <i>et al.</i> (2013)	Benefícios do uso do <i>Big Data na SC</i> abordados no trabalho são: (1) eficiência operacional; (2) experiência do cliente e (3) novos modelos de negócio.
Jha <i>et al.</i> (2016)	Maior poder de análise de dados internos e externos e criação de novas formas de adquirir dados e disseminar informações devido aumento dos desempenhos em hardwares e de tecnologias como o <i>Big Data</i> .
Kynast e Marjanovic (2016)	Benefícios do uso do <i>Big Data na SC</i> citados são: (1) otimização de processos, (2) novas direções estratégicas e modelos de negócios, (3) melhorias nas atividades de <i>marketing</i> e vendas, (4) maior poder de barganha e seleção de fornecedor, (5) decisões automatizadas em tempo real, (6) transparência, (7) melhor gerenciamento de riscos e, (8) análise em tempo real e ganho na responsividade.
Lamba e Singh (2017)	Permite a otimização de todas as funções da <i>SC</i> . Na previsão das necessidades, o processo deixa de ser reativo e passa a ser proativo, contando com a assistência da tecnologia no planejamento e na eliminação de incertezas.
Leveling <i>et al.</i> (2014)	Maior colaboração entre clientes e fornecedores devido necessidade de se compartilhar dados. Foco dado na visibilidade de informação apoia as tomadas de decisões complexas. Observa-se a expectativa, ainda, da tecnologia permitir a geração de novos modelos de negócio e fornecer novos serviços aos clientes.
Li <i>et al.</i> (2018)	Previsão mais acurada da demanda por meio do uso de dados internos e externos. Neste aspecto, entender a situação do cliente e desenvolver uma resposta efetiva para atendê-lo pode ser uma fonte de criação de valor superior para o cliente.
Ma <i>et al.</i> (2015)	No segmento de varejo, o <i>Big Data</i> alinhado com tecnologias móveis confere benefícios como eficiência operacional, redução de custos nos processos de armazenamento e transporte, monitoramento em tempo real das atividades logísticas, melhor direcionamento de propagandas e melhor serviço aos clientes.
Miao e Zhang (2014)	Dentre os benefícios do uso do <i>Big Data</i> nas redes de distribuições, citem-se: (1) melhor serviço ao cliente, (2) maior segurança nas atividades, (3) maior visibilidade, (4) maior eficiência nas atividades e métodos e ferramentas de raciocínio.
Mikavica <i>et al.</i> (2015)	Aumento da confiabilidade no planejamento da logística, compatibilizando a demanda com os recursos disponíveis. Maiores oportunidades das empresas compreender melhor os clientes por meio da análise de dados coletados, bem como reduzir os riscos das operações logísticas.
Moretto <i>et al.</i> (2017)	Os autores apresentam no trabalho os benefícios e oportunidades do uso do <i>Big Data</i> nas funções previsão, aquisição e marketing.
Pearson <i>et al.</i> (2014)	O <i>Big Data analytics</i> permite às empresas aumentar a eficiência de suas operações, integrar funções e reagir rapidamente às mudanças.
Ramanathan <i>et al.</i> (2017)	Melhoria do desempenho de empresas, permitindo a orientação da cultura organizacional em prol dos clientes.
Ranjan <i>et al.</i> (2016)	Maior rentabilidade, eficiência, planejamento, tomada de decisões e melhor previsão de demanda devido a análise de dados estruturados e não estruturados de diversas fontes, levando a um melhor serviço ao cliente.
Rickey Jr. <i>et al.</i> (2016)	Entrevistas com gestores destacam como oportunidades do <i>Big Data</i> na <i>SC</i> : melhor tomada de decisão, eficiência operacional, segurança de dados e transparência.

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Quadro 5: Síntese dos benefícios do *Big Data* na *Supply Chain* (continuação)

<b>Autor</b>	<b>Benefícios identificados</b>
Roßmann <i>et al.</i> (2018)	O estudo identifica a redução da incerteza das operações do <i>SC</i> , melhorando previsões e predições e aumentando a transparência da <i>SC</i> .
Russo <i>et al.</i> (2015)	Visibilidade em tempo real e maior eficiência nas atividades de aquisição, no gerenciamento de armazéns e na logística.
Sanders (2016)	São observados ganhos na inteligência das operações de marketing, na eficiência das atividades de manufatura e logística e nas atividades de aquisição.
Singh <i>et al.</i> (2017)	O estudo verifica a redução nos tempos de entrega, nos custos dos inventários das operações, favorecendo um melhor serviço ao cliente.
Wang <i>et al.</i> (2016)	Melhor mensuração das atividades e melhores tomadas de decisões, promovendo a melhoria dos processos de negócio das empresas.
Zhou <i>et al.</i> (2015)	<i>Big Data</i> conecta as funções da <i>SC</i> com a previsão preditiva, análise de sentimento e de necessidades dos clientes, rastreamento do inventário em tempo real e assim por diante.

Fonte: elaborado pelo próprio autor

#### 4.2.2. DESAFIOS DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NA *SUPPLY CHAIN*

O Quadro 6 sumariza os desafios abordados nos trabalhos identificados pela revisão sistemática da literatura. Ao analisar os 95 artigos e *proceedings* identificados, assim como constatado em relação aos benefícios, observa-se que estudos relacionados aos desafios dentro do contexto *Supply Chain* 4.0 vêm crescendo e ganhando cada vez mais atenção com o passar dos anos, sendo os anos de 2016 a 2018 os que apresentam a maior quantidade de publicações, conforme apresentado na Tabela 6. Estes números demonstram a crescente preocupação e busca de soluções para minimizar estes desafios e potencializar os benefícios deste conceito.

Quadro 6: Desafios da implantação das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain*

Desafios	Autores																																												
	Agrawal e Das (2011)	Ahram et al. (2017)	Alotaibi e Mehmood (2018)	Amudhavel et al. (2015)	Arya et al. (2017)	Bailey et al. (2016)	Banerjee (2018)	Barreto et al. (2017)	Bhargava et al. (2013)	Bienhaus e Haddud (2018)	Büyükoçkan e Göçer (2018)	Casey e Wong (2017)	CERT-JUK (2015)	Ch e Rao (2018)	Chang et al. (2018)	Charmekh et al. (2017)	Chen (2018)	Chen et al. (2017)	Choi et al. (2018)	Chugh et al. (2016)	Clancy (2017)	Corici et al. (2016)	Das (2015)	Fraj et al. (2017)	Gu (2018)	Haddud et al. (2017)	Hallman et al. (2014)	Harrison et al. (2016)	He et al. (2016)	Hiromoto et al. (2017)	Holland et al. (2018)	Holmström et al. (2016)	Isasi et al. (2015)	Ivanov et al. (2016)	Jeske et al. (2013)	Kache e Seuring (2015)	Kamble et al. (2019b)	Kappor et al. (2011)							
Alto grau de informatização / Requisitos e estratégias de computação						x													x																						x				
Compatibilidade dos sistemas																											x															x			
Complexidade dos sistemas					x																																								
Confiabilidade; robustez e interoperabilidade dos sistemas							x				x						x	x							x	x																			
Desafios em armazenar, descobrir e compartilhar dados			x	x																						x	x																		
Escalabilidade					x																																					x			
Segurança / privacidade	x	x		x		x		x	x		x		x	x	x	x				x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x										x	x			
Desafios ambientais																																											x		
Investimento financeiro								x			x																																x	x	
Padronização / Políticas legislativas			x				x				x	x																																x	
Diferentes dinâmicas e estruturas temporais dos processos fabris																																													
Falta de iniciativa, habilidades e/ou conhecimentos insuficientes			x		x						x																																		
Tecnologias imaturas																																													
Adaptação e riscos relacionados aos novos modelos de negócio																																													
Alinhamento estratégico, entre funções e empresas e de governança																																													
Cooperação entre os múltiplos participantes da SC																																													
Falta de capacidade de combinar dados / obter dados de qualidade					x																																								
Medo de mudança																																													
Relação homem - tecnologia																																													
Substituição do recurso humano / Demissão																																													

Fonte: elaborado pelo próprio autor



Quadro 6: Desafios da implantação das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain* (continuação)

Desafios	Autores																			
	Spanaki <i>et al.</i> (2017)	Szozda (2017)	Tjahjono <i>et al.</i> (2017)	Tu (2018)	Tuptuk e Hailes (2018)	Tziantopoulos <i>et al.</i> (2019)	Urquhart e McAuley (2018)	Xu <i>et al.</i> (2013)	Wang <i>et al.</i> (2016)	Wang <i>et al.</i> (2019)	Wazid <i>et al.</i> (2017)	Weber (2010)	Wilding e Wheatley (2015)	Wolfer <i>et al.</i> (2017)	Wu <i>et al.</i> (2016)	Yang <i>et al.</i> (2015)	Yang <i>et al.</i> (2017)	Yang <i>et al.</i> (2018)	Zhong <i>et al.</i> (2016)	
Alto grau de informatização / Requisitos e estratégias de computação																				
Compatibilidade dos sistemas								x												
Complexidade dos sistemas								x												
Confiabilidade; robustez e interoperabilidade dos sistemas									x								x		x	
Desafios em armazenar, descobrir e compartilhar dados		x						x						x					x	
Escalabilidade																				x
Segurança / privacidade	x	x			x		x		x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x
Desafios ambientais																				
Investimento financeiro				x					x											
Padronização / Políticas legislativas			x			x	x		x		x									
Diferentes dinâmicas e estruturas temporais dos processos fabris																				
Falta de iniciativa, habilidades e/ou conhecimentos insuficientes															x					
Tecnologias imaturas									x						x					
Adaptação e riscos relacionados aos novos modelos de negócio									x											
Alinhamento estratégico, entre funções e empresas e de governança																				
Cooperação entre os múltiplos participantes da SC										x										
Falta de capacidade de combinar dados / obter dados de qualidade	x								x					x						
Medo de mudança										x					x					
Relação homem - tecnologia			x																	
Substituição do recurso humano / Demissão																				

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Tabela 6: Quantidade de trabalhos publicados por ano que apresentam os desafios das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain*

<b>Ano de publicação</b>	<b>Total de trabalhos publicados</b>
2010	1
2011	2
2012	1
2013	5
2014	2
2015	12
2016	19
2017	24
2018	25
2019	4

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Já no Quadro 7 é apresentado o percentual de citações de cada desafio identificado. Destacam-se aqui, os cinco mais citados: (1) segurança e privacidade; (2) padronização e falta de políticas legislativas; (3) falta de capacidade de combinar dados e obtê-los com qualidade; (4) desafios de armazenagem e uso dos dados e; (5) investimento financeiro.

Quadro 7: Percentual de citações dos desafios identificados na literatura

<b>Desafio</b>	<b>Percentual</b>
Segurança / privacidade	71%
Padronização / Políticas legislativas	15%
Falta de capacidade de combinar dados / obter dados de qualidade	15%
Desafios em armazenar, descobrir e compartilhar dados	13%
Investimento financeiro	13%
Confiabilidade; robustez e interoperabilidade dos sistemas	13%
Complexidade dos sistemas	9%
Falta de iniciativa, habilidades e/ou conhecimentos insuficientes	8%
Alinhamento estratégico, entre funções e empresas e de governança	7%
Cooperação entre os múltiplos participantes da SC	6%

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Quadro 7: Percentual de citações dos desafios identificados na literatura  
(continuação)

<b>Desafio</b>	<b>Percentual</b>
Adaptação e riscos relacionados aos novos modelos de negócio	6%
Escalabilidade	6%
Compatibilidade dos sistemas	6%
Alto grau de informatização / Requisitos e estratégias de computação	5%
Tecnologias imaturas	4%
Desafios ambientais	3%
Medo de mudança	3%
Relação homem - tecnologia	3%
Substituição do recurso humano / Demissão	3%
Diferentes dinâmicas e estruturas temporais dos processos fabris	2%

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Ao todo, são identificados vinte desafios que, em função da maneira com que eles impactam a *Supply Chain*, foram agrupados em três distintos macrogrupos, conforme ilustrado na Figura 18: (1) desafios estratégicos; (2) desafios gerenciais e; (3) desafios operacionais.

A seguir, os macrogrupos e seus respectivos desafios são apresentados pormenorizadamente.

- **Desafios estratégicos**

No macrogrupo Desafios Estratégicos, detalhado no Quadro 8, diversos autores enfatizam o elevado investimento necessário para implementar tais soluções (BÜYÜKÖZKAN e GÖÇER, 2018; HADDUD *et al.*, 2017; HARRISON *et al.*, 2016; KACHE e SEURING, 2015; KYNAST e MARJANOVIC, 2016; LÓPEZ *et al.*, 2012; QUEIROZ e TELLES, 2018; TU, 2018). Pishdar *et al.* (2018) ressaltam que tais investimentos para obtenção de dados e serviços derivados dessas tecnologias nem sempre apresentarão retorno financeiro.

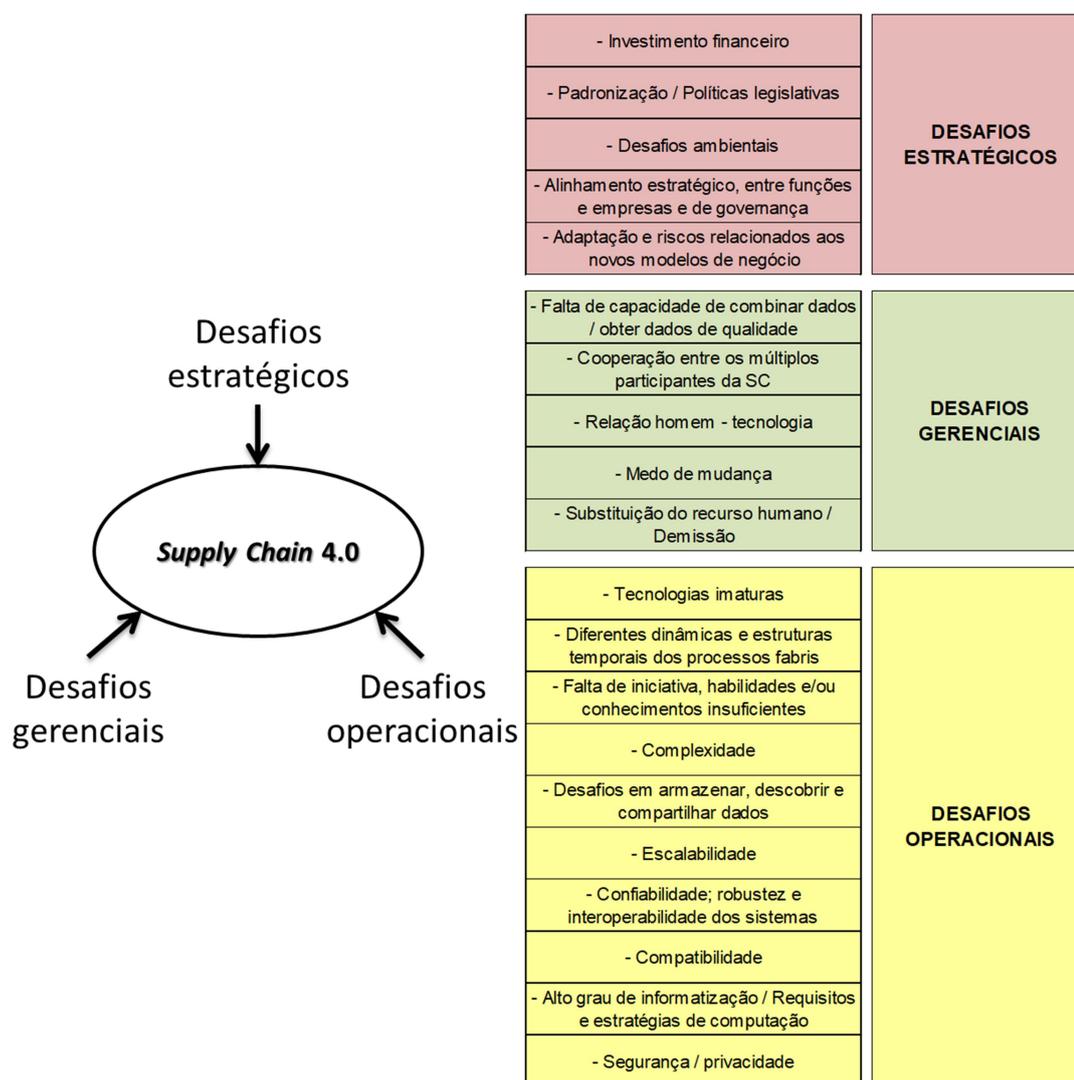


Figura 18: Classificação dos desafios da *Supply Chain 4.0*

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Em relação às políticas legislativas, são necessárias leis que garantam a segurança e integridade das pessoas dentro desse novo ambiente em que pessoas e robôs dividirão espaços e trabalharão de forma colaborativa dentro (TJAHJONO *et al.*, 2017) e fora do ambiente corporativo (BÜYÜKÖZKAN e GÖÇER, 2018; CASEY e WONG, 2017). Adicionalmente, é necessária legislação no âmbito internacional para garantir a segurança e privacidade (WEBER, 2010), problemas relativos a danos pessoais e de responsabilidade pelo produto em caso de falhas (MOHR e KHAN, 2015) e responsabilidade das informações compartilhadas (ALOTAIBI e MEHMOOD, 2018). O equilíbrio entre as obrigações legais entre fornecedores de infraestrutura e clientes

(URQUHART e MCAULEY, 2018) dentro do universo digital também são questões importantes a se considerar. Autores que discutem as tecnologias *Big Data* e *RFID* (ISASI *et al.*, 2015) e *IoT* (KHANNA e SHARMA, 2017) abordam os problemas de padrões globais visando a compatibilidade entre os sistemas, onde a falta destes padrões pode levar à dificuldades na coleta e uso dos dados. Pishdar *et al.* (2018) reforçam a importância da existência de leis para a formação da base para o desenvolvimento das tecnologias: conforme observado nos estudos, a falta de legislações é um desafio que pode ocasionar inúmeras outras.

Adicionalmente, Miao e Zhang (2014) levantam a questão dos desafios ambientais das tecnologias da Indústria 4.0, como o aumento do consumo de energia por parte do maior uso de equipamentos eletrônicos e sistemas integrados à *Supply Chain*. Pishdar *et al.* (2018) acrescentam, ainda, a preocupação ao número de componentes eletrônicos que, ao longo do tempo, se tornarão obsoletos e necessitarão de reposição.

Por fim, são abordadas questões referentes às diversidades de modelos operacionais e falta de integração entre funções (HADDUD *et al.*, 2017), falta de estrutura de governança da *Supply Chain* (KACHE e SEURING, 2015) e de estratégia para utilização das tecnologias (BIENHAUS e HADDUD, 2018; KYNAST e MARJANOVIC, 2016; PISHDAR *et al.*, 2018), bem como dificuldades referentes à adaptação e integração das empresas ao novo modelo de negócio digital (HADDUD *et al.*, 2017; PISHDAR *et al.*, 2018).

Quadro 8: Síntese dos desafios estratégicos do uso das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain*

<b>Assunto</b>	<b>Autor</b>	<b>Desafio identificado</b>
DSC	Bienhaus e Haddud (2018)	A transformação digital necessita do alinhamento estratégico da organização para entender as ações necessárias a serem tomadas.
	Büyükoçkan e Göçer (2018)	Alto investimento para implementação e manutenção das tecnologias, uso de robôs e veículos autoguiados, aéreos ou terrestres, apresentam desafios legislativos.
	Tjahjono <i>et al.</i> (2017)	Aspectos legais em relação ao ambiente em que pessoas e máquinas trabalham juntas.

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Quadro 8: Síntese dos desafios estratégicos do uso das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain* (continuação)

<b>Assunto</b>	<b>Autor</b>	<b>Desafio identificado</b>
<i>Big Data</i>	Alotaibi e Mehmood (2018)	Questões relacionadas a padrões e responsabilidade do proprietário da informação são questões identificadas dentro do setor de saúde.
	Isasi <i>et al.</i> (2015)	Falta de padrões globais.
	Kynast e Marjanovic (2016)	Desenvolvimento de estratégias para uso do Big Data, alto investimento necessário em infraestrutura de TI.
	Kache e Seuring (2015)	Falta de estrutura de governança da SC, falta de colaboração e integração entre os participantes da SC, falta de profissionais em TI com conhecimentos em combinar dados e fazer uso deles, alto investimento.
	Queiroz e Telles (2018)	Alto investimento necessário.
	Miao e Zhang (2014)	Desafios ambientais referentes ao consumo de energia de equipamentos e sistemas.
<i>IoT</i>	Haddud <i>et al.</i> (2017)	Resistência dos empregados em relação ao uso das novas tecnologias e práticas, falta de conhecimentos e habilidades necessárias, diversidade de modelos operacionais e a falta de integração entre funções das empresas e <i>ICT</i> , necessidade de projetar novos modelos de negócio de SC, integração e sincronização eficiente dos dados e dos sistemas de computação em nuvem, substituição da força de trabalho humana, alto investimento financeiro.
	Khanna e Sharma (2017)	Falta de padrão internacional de compatibilidade para monitoramento de equipamentos.
	Kamble <i>et al.</i> (2019b)	Falta de regulamentações governamentais, de padrões globais para objetos inteligentes e sistemas, bem como alto consumo de energia e alto custo na operação e adoção da tecnologia.
	López <i>et al.</i> (2012); Tu (2018)	Alto investimento financeiro necessário para implementação e manutenção da <i>IoT</i> .
<i>IoT</i>	Pishdar <i>et al.</i> (2018)	Custo para a implementação da <i>IoT</i> , que nem sempre o valor investido é recuperado na obtenção dos dados ou serviços derivados dela. Desafios ambientais, como o consumo de energia e a grande quantidade de componentes eletrônicos que se tornarão obsoletos ao longo do tempo. Falta de estratégia, dificuldades em compartilhar responsabilidades referentes aos erros, falta de integração e adaptação das diferentes empresas que compõem a SC ao novo modelo de negócio digital, falta de conhecimento das empresas em como gerar valor com as informações obtidas pela <i>IoT</i> .
	Urquhart e McAuley (2018)	Necessidade de políticas legislativas como forma de equilibrar obrigações legais e combater o cenário atual de desafios técnicos.
<i>Blockchain</i>	Casey e Wong (2017)	Desafio em unir os complexos conjuntos de regulamentações, leis marítimas e códigos comerciais com a natureza digitalmente definida, desmaterializada, automatizada e desnacionalizada de <i>Blockchains</i> e contratos inteligentes.
	Wang <i>et al.</i> (2019)	Investimento necessário, falta de padrões e incertezas quando as regulamentações e uso ilegal da tecnologia.
	Banerjee (2018)	Custos de integração, armazenamento de dados e manutenção. Desafios na adoção e uso devido falta de regulamentação global.

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Quadro 8: Síntese dos desafios estratégicos do uso das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain* (continuação)

<b>Assunto</b>	<b>Autor</b>	<b>Desafio identificado</b>
<i>CPS</i>	Harrison <i>et al.</i> (2016)	Custo associado à implantação de <i>softwares</i> de engenharia.
<i>Manufatura aditiva</i>	Mohr e Khan (2015)	Desafios legais da manufatura aditiva referente à responsabilidade pelo produto em caso de falhas.

Fonte: elaborado pelo próprio autor

- **Desafios Gerenciais:**

A falta de capacidade em combinar dados e obter dados com qualidade é um dos desafios inseridos no macrogrupo Desafios Gerenciais (Quadro 9) e que devem ser levados em consideração pelas empresas (JESKE *et al.*, 2013; PISHDAR *et al.*, 2018) devido:

- Aos diversos padrões e formatos de comunicações existentes (KUMAR *et al.*, 2013; LEE e LEE, 2015; WANG *et al.*, 2016)
- Às formas de coletar, armazenar e combinar os dados (ONG *et al.*, 2016)
- À falta de profissionais de TI com conhecimentos em combinar e utilizar os dados apropriadamente (KACHE e SEURING, 2015), em fazer uso das informações (PISHDAR *et al.*, 2018) e em desenvolver e implementar as aplicações tecnológicas (KAMBLE *et al.*, 2019b)
- Aos problemas na sincronização dos dados e sistemas (HADDUD *et al.*, 2017) bem como da qualidade dos dados obtidas (SPANAKI *et al.*, 2017; SONG *et al.*, 2016).

Arya *et al.* (2017) e Büyüközkan e Göçer (2018) citam que essa dificuldade em combinar dado pode fazer com que os dados não sejam explorados corretamente e, assim, trazer um retorno abaixo do esperado pelo uso das tecnologias.

Cooperar com os diversos participantes que compõem a *Supply Chain*

implicam em dificuldades que se iniciam desde a mútua adoção e investimentos em tecnologias da Indústria 4.0 (BÜYÜKÖZKAN e GÖÇER, 2018; CLANCY, 2017; KACHE e SEURING, 2015) à dificuldade em compartilhar responsabilidades por erros dentro do contexto digital (PISHDAR *et al.*, 2018).

Adicionalmente, quanto ao desafio “Relação homem-tecnologia”, Wang *et al.* (2019) e Mahroof (2019) abordam os desafios quanto às mudanças nas formas de se trabalhar devido a inserção de tecnologias. Khanna e Sharma (2017) discutem as dificuldades de empresas em encontrar nas tecnologias soluções que atendam às necessidades específicas. Isasi *et al.* (2015) complementam que a não implantação das tecnologias em todos os estágios da *Supply Chain* implica na perda de integração e de visibilidade.

Por fim, o medo de mudança de fazer uso de aplicações inteligentes na *Supply Chain* e a resistência em aceitar e aprender a utilizar as novas tecnologias, bem como questões sobre ética e segurança ao dividir o espaço de trabalho com máquinas e a substituição da mão de obra pelas tecnologias também são consideradas (BÜYÜKÖZKAN e GÖÇER, 2018; HADDUD *et al.*, 2017; KHANNA e SHARMA, 2017; TJAHHONO *et al.*, 2017; WU *et al.*, 2016).

#### Quadro 9: Síntese dos desafios gerenciais do uso das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain*

<b>Assunto</b>	<b>Autor</b>	<b>Desafio identificado</b>
SC4	Tjahjono <i>et al.</i> (2017)	Questões como ética e segurança do trabalhador ao dividir o espaço com máquinas.
	Wang <i>et al.</i> (2016)	Obtenção de dados de qualidade dentro da SC considerando os múltiplos padrões, formatos e canais de comunicação existentes.
	Wu <i>et al.</i> (2016)	Medo de mudança.
	Büyükozkan e Göçer (2018)	Medo de funcionários ao dividir o mesmo espaço que as tecnologias, como a robótica, resistência ao uso de tecnologias como a realidade aumentada; necessidade de saber explorar e utilizar os dados corretamente; tecnologias como nanotecnologia e impressão 3D requerem colaboração e alto nível de participação e comum investimento de membros e concorrentes da <i>Supply Chain</i> .

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Quadro 9: Síntese dos desafios gerenciais do uso das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain* (continuação)

Assunto	Autor	Desafio identificado
Big Data	Arya <i>et al.</i> (2017)	A análise dos dados deve ser feita de forma correta para possibilitar decisões eficientes; do contrário, o investimento terá sido em vão.
	Isasi <i>et al.</i> (2015)	Necessidade de implantação da tecnologia em todos os estágios da SC, o que garante sua total integração e aumento da visibilidade.
	Jeske <i>et al.</i> (2013)	Qualidade dos dados é um obstáculo que deve ser superado antes do <i>Big Data</i> ter grande influência na logística.
	Kumar <i>et al.</i> (2013)	Imprecisão e falta de consistência na obtenção de dados estruturados e não estruturados.
	Ong <i>et al.</i> (2016)	Diferentes formas de coleta, armazenagem e necessidade de combinação, levando a dificuldades na análise dos mesmos.
	Song <i>et al.</i> (2016)	Inacuracidade na obtenção de informações de certos tipos de dados.
	Wolfert <i>et al.</i> (2017)	Desafios referentes aos sistemas de informação dentro do setor agrícola, necessidade de processar dados em tempo real para ganho de vantagem competitiva.
AI	Mahroof (2019)	Mudanças relacionadas à forma de trabalhar e conduzir as atividades da função, desafios nos fluxos e na estrutura física dos armazéns.
Blockchain	Clancy (2017)	Cooperação entre os múltiplos participantes da SC na adoção das aplicações de <i>Blockchain</i> .
	Wang <i>et al.</i> (2019)	Mudança na forma de trabalho tanto em relação aos colaboradores quanto aos processos, mudança na cultura e dificuldade em compartilhar informações com os parceiros da SC.
Manufatura aditiva	Holmström <i>et al.</i> (2016)	Problemas no gerenciamento de modelos de <i>design</i> digitais para revisões de produtos heterogêneos em uso.
IoT	Lee e Lee (2015)	Dificuldades de ferramentas de processamento e análise de dados, não sendo capazes de entender e combinar dados provenientes de imagens e vídeos não estruturados.
	Khanna e Sharma (2017)	Necessidade de soluções específicas ao longo da SC, bem como substituição da mão-de-obra menos qualificada por soluções da <i>IoT</i> .
	Kamble <i>et al.</i> (2019b)	Falta de profissionais com competências para desenvolver e implementar as aplicações.
	Spanaki <i>et al.</i> (2017)	Processamento de dados, abordagens de manufatura tradicionais, diferentes formas em que os dados são capturados.

Fonte: elaborado pelo próprio autor

- Desafios Operacionais:

Em relação ao Macrogrupo Desafios Operacionais, sumarizados no Quadro 10, são apresentados como dificuldades a própria necessidade de se desenvolver as tecnologias alavancadas pela Indústria 4.0, as quais ainda se encontram em seu estágio inicial e imaturo e requerem viabilidade técnica (JESKE *et al.*,

2013; KYNAST e MARJANOVIC, 2016) e grandes avanços para criar uma solidez e gerar maiores benefícios (WU *et al.*, 2016; KYNAST e MARJANOVIC, 2016, WANG *et al.*, 2019). São identificadas, também, as diferentes dinâmicas de operações entre os membros da *Supply Chain* e as estruturas temporais dos processos fabris e de equipamentos, que podem comprometer a coleta, análise e compartilhamento de dados e a programação de toda essa estrutura de produção (HADDUD *et al.*, 2017; IVANOV *et al.*, 2016).

Em relação ao desafio “Falta de iniciativa, habilidades e/ou conhecimentos insuficientes”, incluem-se as dificuldades em analisar e utilizar dados devido seus diversos formatos e estruturas. Pearsall (2016) observa questões relacionadas a uso dos dados e o compartilhamento deles, destacando a necessidade de clareza quanto quais os dados e qual a finalidade destes serem compartilhados ao longo da *Supply Chain*. Aqui, a falta de especialistas para alavancar a digitalização nas empresas é abordado por Bienhaus e Haddud (2018) e Arya *et al.* (2017) e de conhecimento quanto ao uso correto de seus dados por Hallman *et al.* (2014).

Adicionalmente, a criação de um sistema capaz de interpretar e apresentar informações de valor proveniente dos dados é complexa (ARYA *et al.*, 2017; KUMAR *et al.*, 2013) e requer viabilidade técnica (JESKE *et al.*, 2013), estratégia (CHOI *et al.*, 2018), equipe capacitada (KUMAR *et al.*, 2013; KACHE e SEURING, 2015) e infraestrutura capaz de suportar toda a necessidade de computação (KACHE e SEURING, 2015). Ainda, Kache e Seuring (2015) elucidam que sistemas de TI com níveis de maturidade diferentes podem trazer desafios de eficiência e visibilidade da rede global.

Autores como Alotaibi e Mehmood (2018), Amudhavel *et al.* (2015), Isasi *et al.* (2015), Mikavic *et al.* (2015), Szozda (2017), Xu *et al.* (2013) e Wolfert *et al.* (2017) explanam que os desafios de armazenamento, análise e processamento dos dados por meio de métodos tradicionais são ocasionados pelo volume, variedade e heterogeneidade destes, e se estendem na necessidade de obtenção de informações com qualidade, bem como de acesso e visibilidade aos demais membros da *Supply Chain* (KYNAST e MARJANOVIC, 2016).

Desafios de escalabilidade e a confiabilidade, robustez e interoperabilidade dos sistemas na coleta, análise e transmissão simultânea dos dados são citados por Arya *et al.* (2017), Büyüközkan e Göçer (2018), López *et al.* (2012) e Pishdar *et al.* (2018). Zhong *et al.* (2016) também adicionam, nesse desafio, problemas referentes a estabilidade e a vulnerabilidade na transmissão dos dados para os sistemas, principalmente quando feita via rede sem fio.

Lee e Lee (2015) e Xu *et al.* (2013) abordam sobre os desafios de compatibilidade em conectar todos os sistemas da *Supply Chain*. Khanna e Sharma (2017) reforçam essa ideia observando a dificuldade em prever falhas, citando uma simples falha elétrica como motivo para trazer reações em cadeia a todas as empresas interligadas. Além disso, o alto grau de informatização e os requisitos e estratégias de computação é abordado por Choi, Wallace e Wang (2018) e Kshetri (2018).

Quadro 10: Síntese dos desafios operacionais do uso das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain*

Assunto	Autor	Desafio identificado
SC4	Bienhaus e Haddud (2018)	Falta de funcionários com conhecimento e capacidades necessárias para alavancar a transformação digital.
	Büyüközkan e Göçer (2018)	Interoperabilidade contínua do sistema, considerando a escala global e a quantidade de sensores que geram e trocam dados.
	Ivanov <i>et al.</i> (2016)	Estruturas temporais de máquinas, diferentes velocidades de processamento e a dinâmica desestruturada de chegadas de trabalho.
	Szozda (2017)	Capacidade das redes sem fio de longa distância em compartilhar dados.
	Wu <i>et al.</i> (2016)	Falta de iniciativa, de habilidades e conhecimentos, e imaturidade das tecnologias.
Big Data	Alotaibi e Mehmood (2018); Amudhavel <i>et al.</i> (2015)	Dados volumosos, complexos e heterogêneos, dificultando seu uso em aplicações de processamento de dados tradicionais. Coleta, compartilhamento, armazenamento, relocação e visualização dos dados, bem como problemas relacionados à forma de analisar diferentes padrões de dados e suas relações.
	Arya <i>et al.</i> (2017)	Escalabilidade e complexidade quanto à arquitetura do sistema e em fazer os resultados obtidos utilizáveis para ganho de vantagem competitiva. Falta de pessoas com conhecimentos da tecnologia.
	Choi <i>et al.</i> (2018)	Requisitos e estratégias de computação para condução de análises na gestão de operações.
	Isasi <i>et al.</i> (2015)	Dificuldade em gerenciar dados cada vez mais finos e volumosos.

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Quadro 10: Síntese dos desafios operacionais do uso das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain* (continuação)

Assunto	Autor	Desafio identificado
Big Data	Jeske <i>et al.</i> (2013)	Para ter grande influência na logística, a tecnologia requer maior viabilidade técnica.
	Hallman <i>et al.</i> (2014)	Necessidade das empresas em saber como usar os dados advindos do <i>Big Data</i> para, somente assim, se beneficiar dessa tecnologia.
	Kache e Seuring (2015)	Sistemas diferentes de TI possuem níveis de maturidade diferentes e apresentam desafios quanto à eficácia, comprometendo a visibilidade da SC de ponta a ponta. Complexidade no que se refere às habilidades necessárias para seu uso, bem como na infraestrutura necessária.
	Kumar <i>et al.</i> (2013)	Combinar dados, analisá-los e apresentar informações capazes de gerar valor são complexos até mesmo para cientistas de computação.
	Kynast e Marjanovic (2016)	Complexidade no que se refere ao processamento, acesso, compartilhamento, transparência e qualidade dos dados gerados. Barreiras tecnológicas para o desenvolvimento e uso do potencial da tecnologia na SC, falta de cientistas de dados com conhecimentos em SC.
	Mikavic, <i>et al.</i> (2015)	Captura de dados, armazenamento, busca, fragmentação, análise e visualização.
	Queiroz e Telles (2018)	Falta de conhecimento dos benefícios da tecnologia e de profissionais especializados.
	Wolfert <i>et al.</i> (2017)	Desafios referentes às quantidades de dados e suas formas heterogêneas e não estruturadas.
RFID	Zhong <i>et al.</i> (2016)	Robustez na coleta e transmissão simultânea de dados, <i>escalabilidade</i> dos sistemas e armazenamento de grandes volumes de dados. Compartilhamento de dados apresentam problemas de estabilidade e vulnerabilidade; principalmente nas transmissões em redes sem fio.
	Chen <i>et al.</i> (2017)	Problemas na identificação de <i>tags</i> desconhecidos pelo sistema.
	Fraj <i>et al.</i> (2017)	Problemas na robustez na comunicação entre <i>tags</i> e leitores de sistemas <i>UHF RFID</i> .
Automatização / AGV	Schneider <i>et al.</i> (2018)	Integração de diferentes sistemas de diferentes empresas.
Blockchain	Kshetri (2018)	Devido aos requisitos de informatização, os autores explanam que dificilmente o potencial total da <i>Blockchain</i> na SC será atingido.
	Mylrea e Gourisetti (2018)	Dificuldade de sistemas de controle industrial e sistemas de distribuição de energia obter requisitos de confiabilidade e segurança.
	Wang <i>et al.</i> (2019)	Tecnologia ainda se encontra em um estágio imaturo, confiabilidade dos dados quando inseridos manualmente trazem possibilidade de manipulação, interoperabilidade do sistema.
	Banerjee (2018)	Tecnologia requer alto poder de computação e internet e requer que sistemas sejam capazes de comunicar com ele.
CPS	Chen (2017)	Falta de eficiência de comunicação, integração de recursos e arquitetura de sistemas, especialmente em sistemas que tratam de rastreamento de alimentos.
	Harrison <i>et al.</i> (2016)	Pouco tem sido estudado sobre a integração e validação de soluções de automação eficaz na SC para obtenção de melhor eficiência.

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Quadro 10: Síntese dos desafios operacionais do uso das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain* (continuação)

Assunto	Autor	Desafio identificado
<i>IoT</i>	Gu (2018)	Grande quantidade de dados gerada e a confiabilidade dos sistemas na identificação das <i>tags</i> .
	Haddud <i>et al.</i> (2017)	Armazenamento de grandes volumes de dados gerados com segurança e confiabilidade, necessidade de integração dos sistemas, dados, tecnologias e operações, complexidade na integração das empresas, bem como de seus recursos, tecnologias, sistemas e informações, compatibilidade na integração de sensores, redes e aplicações de diferentes tecnologias e fabricantes. Diversidade de modelos de indústrias e a integração das diferentes tecnologias e operações existentes na SC.
	Khanna e Sharma (2017)	O poder de falhas, quando tudo está conectado à <i>IoT</i> , é grande e difícil de se prever.
	Lee e Lee (2015)	Complexidade nos sistemas conectados, ocasionando reações em cadeia quando um dispositivo ou sistema apresenta um problema. Necessidade de soluções para problemas de armazenamento dos dados.
	López <i>et al.</i> (2012)	Escalabilidade referente à forma de armazenamento das informações.
	Pearsall (2016)	Aplicações da <i>IoT</i> precisam da comunicação interconectadas entre clientes e fornecedores. O autor questiona, no trabalho, quais os dados que devem ser coletados e compartilhados e para qual finalidade e uso.
<i>IoT</i>	Pishdar <i>et al.</i> (2018)	Necessidade de espaço para armazenamento de dados, de se entender o tipo de informação a ser armazenada e por quanto tempo. Problemas de escalabilidade e interoperabilidade em conectar todos os recursos da SC.
	Xu <i>et al.</i> (2013)	Compatibilidade e complexidade em conectar todos os objetos da SC na <i>IoT</i> . Desafios de armazenamento, descobrimento e compartilhamento de dados.
	Yang <i>et al.</i> (2017)	Vulnerabilidades da <i>IoT</i> na SC resultam em preocupações em relação à confiabilidade dos dispositivos e componentes da <i>IoT</i> .

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Destaca-se, dentro deste macrogrupo, o desafio “segurança e privacidade, abordado em aproximadamente 71% dos artigos e *proceedings*. A segurança e privacidade na utilização tecnologias (*Big Data*, *RFID*, Internet das Coisas, Sistemas Físico-Cibernéticos, dentre outros) é o desafio com maior quantidade de publicação e preocupação tanto por parte das empresas quanto da academia. Os trabalhos evidenciam a extensão deste desafio que membros da *Supply Chain* deverão enfrentar ao implantar as tecnologias impulsionadas pela Indústria 4.0. *CERT-UK* (2015) reforça essa ideia ao explanar que diferentes empresas apresentam diferentes níveis de segurança em seus sistemas, sendo

que a de menor nível de segurança permite a exposição de todas as demais empresas a ela conectadas a ataques e invasões.

O Quadro 11 apresenta os trabalhos que destacam os riscos de segurança e privacidade.

Quadro 11: Síntese da literatura identificada sobre segurança e privacidade das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain*

Assunto	Autor	Desafio identificado
	Bailey <i>et al.</i> (2016); Moyne <i>et al.</i> (2018)	Dentre os riscos que expõem a segurança de dados e a proteção da privacidade de usuários e empresas, estão os ataques cibernéticos e o roubo de <i>IP</i> .
	Barreto <i>et al.</i> (2017); Szozda (2017)	A segurança das informações e dados é um desafio do uso das tecnologias da Indústria 4.0 na <i>SC</i> .
	Bhargava <i>et al.</i> (2013)	Divulgação não autorizada e vazamento de dados.
	Büyükoçkan e Göçer (2018)	Desafios de segurança e privacidade são identificados, dentre outros, em tecnologias como realidade aumentada, <i>big data</i> , computação em nuvem, robótica, tecnologia de sensoriamento, <i>Omnichannel</i> , <i>IoT</i> , veículos autoguiados e nanotecnologia e impressão 3D.
SC4		Riscos cibernéticos são citados de modo a demonstrar o quão vasto são os riscos, dentre eles: ataques em fornecedores de <i>software</i> de terceiros, em construtores de sites, em armazenadores de dados, bem como à uma organização em particular.
SC4	CERT-UK (2015)	
	Lu <i>et al.</i> (2013)	A segurança em sistemas de <i>ICT</i> ainda está em estágios preliminares, conferindo riscos de segurança na gestão da informação, na integridade de sistemas e no espaço cibernético.
	McDonald <i>et al.</i> (2016)	Riscos para aplicativos baseados em hardware com <i>IP</i> incorporados a engenharia reversa adversária e a clonagem ilegal.
	Pirpilidis <i>et al.</i> (2016)	Risco de inserção de lógica maliciosa no design de hardware - risco esse que vem aumentando a medida que as <i>SC</i> digitais se tornam mais complexas e integradas.
	Wilding e Wheatley (2015)	Dificuldades em proteger sistemas de <i>TI</i> à ataques cibernéticos.
	Agrawal e Das (2011); Chugh <i>et al.</i> (2016); Das (2015); Pishdar <i>et al.</i> (2018); Yang <i>et al.</i> (2015)	Sendo a Internet um canal público (e inseguro), observa-se a preocupação quanto à segurança e a privacidade ao integrar e conectar recursos pessoais e empresariais na infraestrutura de <i>IoT</i> .
<i>IoT</i>	Ch e Rao (2018)	Os autores identificam os possíveis riscos da <i>IoT</i> dentro do modelo de 7 camadas da CISCO, modelo de referência em <i>IoT</i> .
	Corici <i>et al.</i> (2016)	Privacidade e confiança é uma preocupação crescente para possíveis clientes, sejam eles consumidores ou empresas.
	Haddud <i>et al.</i> (2017)	Riscos de segurança e vulnerabilidade de dispositivos e rede.

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Quadro 11: Síntese da literatura identificada sobre segurança e privacidade das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain* (continuação)

Assunto	Autor	Desafio identificado
IoT	He <i>et al.</i> (2016)	Empresas conectadas apresentam diferentes níveis de segurança, o que pode trazer vulnerabilidades para todos os membros da SC.
	Hiramoto <i>et al.</i> (2017)	Inúmeros dispositivos que se conectam e comunicam dentro do universo da IoT podem ocasionar vulnerabilidade nos dados e brechas para ataques cibernéticos.
	Kamble <i>et al.</i> (2019b)	Falta de infraestrutura de internet, desafios de integração e compatibilidade e problemas de escalabilidade dos sistemas.
	Kenny (2017)	Todos os objetos conectados à IoT apresentam riscos, como detecções de senhas e ataques de repetição, entre outras falhas.
	Khanna e Sharma (2017)	É destacado como desafios da IoT na SC a segurança e privacidade de dados e ataques cibernéticos.
	Kshetri (2017b)	Desafios de segurança da IoT incluem: ataques de negação de serviço, invasões, roubo de dados e sequestros remotos.
	Kumar <i>et al.</i> (2017)	Desafios de segurança são identificados, como: falsificação, violação de propriedade intelectual e clonagem, entre outros.
	Lee e Kwon (2016)	Necessidade de segurança e proteção de dispositivos móveis integrados a IoT.
	Lee e Lee (2015)	A segurança na conexão de grande variedade de dispositivos nas redes IoT eleva os riscos de ameaças sob esse quesito.
	López <i>et al.</i> (2012)	Problemas de segurança e confiança na rastreabilidade e visibilidade de objetos que deixam de ser anônimos dentro do sistema.
	Luszcz (2017)	Vulnerabilidades de sistemas de códigos abertos e de <i>softwares</i> de terceiros.
	Makhdoom <i>et al.</i> (2018)	Disponibilidade e privacidade dos dados do usuário, integridade de mensagens e dispositivos, vulnerabilidade a ataques de <i>malware</i> e riscos de comprometimento físico dos dispositivos.
	Mamun <i>et al.</i> (2018); Ray <i>et al.</i> (2018)	Desafios abordados na segurança e privacidade de <i>tags</i> RFID.
	Omitola e Wills (2018)	Problemas de vulnerabilidade na segurança dos sistemas de IoT, classificando essas vulnerabilidades em quatro classes: (1) pessoas, políticas e procedimentos; (2) plataforma de <i>Software / Firmware</i> ; (3) redes e (4) <i>gateway</i> .
	Ray e Bhadra (2016)	Segurança é dado como um desafio crítico para os dispositivos modernos embarcados, móveis e de IoT.
Ray <i>et al.</i> (2018)	Problemas de segurança tradicionais de hardware são discutidos, bem como demais informações confidenciais introduzidas pelos vários participantes da <i>Supply Chain</i> .	
Shah e Ververi (2018)	Dispositivos e produtos conectados à Internet podem ser violados e rastreados.	
Spanaki <i>et al.</i> (2017)	Preocupações com a privacidade dos dados quando estes são compartilhados com terceiros.	

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Quadro 11: Síntese da literatura identificada sobre segurança e privacidade das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain* (continuação)

Assunto	Autor	Desafio identificado
IoT	Tuptuk e Hailes (2018)	Diversos riscos de segurança em sistemas de manufatura inteligentes são citados, dentre eles: <i>Denial of service (DoS) attack, Eavesdropping attack, Man-in-the-middle attack, False data injection attack, Time delay attack, Data tampering attack, Replay attack, Spoofing attack, Side channel attacks, Covert-channel attacks, Zero day-attacks, Physical attack, Attacks against machine learning and data analytics, Malware.</i>
	Urquhart e McAuley (2018)	Novos desafios de segurança dentro do contexto industrial são abordados ao tornar inteligentes objetos tradicionalmente físicos e conectá-los aos demais sistemas online.
	Wazid et al. (2018)	A maioria dos protocolos de autenticação existentes tem várias limitações de segurança, principalmente em ambientes hostis (comunicação via wireless insegura, por exemplo); cite-se: <i>impersonation, sensing node capture, man-in-the-middle, replay and privileged insider attacks.</i>
	Weber (2010)	São apresentadas as abordagens legais que a Comissão Europeia vem adotando como forma de combater questões de segurança e privacidade dentro do contexto da IoT.
	Yang et al. (2017)	Vulnerabilidades da IoT na SC resultam em preocupações em relação à segurança e a confiabilidade dos dispositivos e componentes.
	Yang et al. (2018)	Problemas de segurança dentro do universo da IoT na SC, dentre eles, a autenticação e a rastreabilidade de dispositivos.
Big Data	Amudhavel et al. (2015); Jeske et al. (2013); Miao e Zhang (2014); Wolfert et al. (2017)	Dentre os desafios citados referentes às aplicações do <i>Big Data</i> na SC, encontra-se a violação da privacidade e desafios de segurança e ataques cibernéticos.
	Hallman et al. (2014)	Riscos referentes à proteção de dados e à privacidade de clientes ao fornecer informações em um ambiente em que os volumes enormes de dados ( <i>Big Data</i> ) são coletados.
	Kache e Seuring (2015)	Ameaças de vazamento de informações, invasão de dados e informações privadas de cliente. Falta de diferenciação entre dados privados e públicos.
	Mikavic et al. (2015)	Necessidade de segurança dos dados nas diversas aplicações entre funções, clientes e fornecedores.
	Richey Jr et al. (2016)	Compartilhamento de informações é tema de preocupação das empresas.
Zhong et al. (2016)	Mesmo com o uso de algoritmos, modelos e mecanismos de criptografia de dados, ataques podem facilmente destruir, expor, modificar, desativar, roubar e obter acesso não autorizado.	
Blockchain	Ahram et al. (2017); Chang et al. (2018)	Desafios de segurança e privacidade dentro do mundo digital.
	Kshetri (2017a)	Mecanismos de segurança da <i>Blockchain</i> não estão bem desenvolvidos para alguns sistemas, citando uma estimativa média de defeitos de códigos nas linhas que variam entre 1,5% e 5%.

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Quadro 11: Síntese da literatura identificada sobre segurança e privacidade das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain* (continuação)

Assunto	Autor	Desafio identificado
Blockchain	Mylrea e Gourisetti (2018)	Dificuldade de sistemas de controle industrial e sistemas de distribuição de energia em obter requisitos de confiabilidade e segurança na <i>Supply Chain</i> .
	Wang <i>et al.</i> (2019)	Proteção das informações confidenciais da empresa.
Manufatura aditiva	Holmström <i>et al.</i> (2016)	Garantias, responsabilidade e proteção de IP podem inibir a adoção da manufatura aditiva.
	Holland <i>et al.</i> (2018)	O desenvolvimento distribuído da manufatura aditiva cria um novo desafio no que se refere à necessidade de diferenciar entre "peça original", "cópia" ou "falsificação".
	Mohr e Khan (2015)	Problemas relativos como danos pessoais, roubo de propriedade intelectual e responsabilidade pelo produto em caso de falhas.
RFID	Kapoor <i>et al.</i> (2011)	Necessidade de desenvolver protocolos de segurança e privacidade que abordem objetos com várias <i>tags</i> .
	Chamekh <i>et al.</i> (2017)	Problemas de segurança para sistemas baseados em rede, como integridade, autenticidade, disponibilidade, confidencialidade, intratabilidade (para entidades / usuários não autorizados), não repúdio, controle de acesso, bem como problemas de restrições operacionais, como poder computacional limitado, tempo de atraso na leitura em massa e sobrecargas de tempo em servidores da <i>web</i> .
	Fraj <i>et al.</i> (2017)	Violação da privacidade e confidencialidade de dados. Mau funcionamento e brechas para ataques de invasores.
	Moniem <i>et al.</i> (2017)	Desafios de segurança e privacidade nas <i>tags RFID</i> referentes ao seu anonimato e identificação de local.
	Qian <i>et al.</i> (2018)	A memória limitada de <i>tags</i> e a falta de capacidade de computação implicam em desafios para projetar um protocolo de autenticação eficiente e seguro.
	Ray <i>et al.</i> (2015)	Garantir segurança e privacidade em operações comerciais.

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Dentre as tecnologias, cite-se o *Big Data*. Gerar, armazenar e analisar informações, bem como compartilhá-las com fornecedores e clientes, pode propiciar ganhos no que se refere à gestão de riscos e tomadas de decisões. No entanto, o fato de compartilhar dados é tema de preocupação entre empresas ao poder colocar em cheque informações sigilosas (RICHEY JR *et al.*, 2016; KACHE e SEURING, 2015). Os demais autores também apresentam ressalvas referentes às vulnerabilidades existentes. Neste aspecto, Zhong *et al.* (2016) afirmam que, mesmo com algoritmos, modelos e mecanismos de criptografia de dados, não há como garantir a segurança e privacidade desses dados.

A integração e interação de objetos e dispositivos da Internet das Coisas na *Supply Chain* podem trazer riscos à segurança e vulnerabilidades de dispositivos e redes. Isso se justifica devido aos protocolos de segurança utilizados nesse tipo de ambiente ainda possuírem diversas limitações (WAZID *et al.*, 2018). Lu *et al.* (2013) complementam que essas limitações se devem ao estágio inicial da segurança dos sistemas de tecnologia de informação e comunicação. Adicionalmente, a diferença de níveis de segurança apresentados por empresas interconectadas também permite a exposição de todos os membros da *Supply Chain* (HE *et al.*, 2016).

O *RFID* também é fonte de preocupação e estudo por pesquisadores quanto à fatores de segurança e privacidade. Inúmeros riscos são identificados nesse sentido. Dentre eles, citem-se a visibilidade de objetos que deixam de ser anônimos no sistema (LÓPEZ *et al.*, 2012) e demais problemas técnicos referentes aos sistemas ligados em rede, como autenticidade, disponibilidade, confidencialidade, intratabilidade (para entidades / usuários não autorizados), não repúdio e controle de acesso; bem como problemas de restrições operacionais, como poder computacional limitado, tempo de atraso na leitura em massa e sobrecargas de tempo em servidores da *web* (CHARMEKH *et al.*, 2017).

Büyükközkcan e Göçer (2018), em seu trabalho, evidenciam também os riscos de segurança e privacidade em tecnologias, como realidade aumentada, computação em nuvem, robótica, tecnologia de sensoriamento, *omni channel*, veículos autoguiados, nanotecnologia e impressão 3D. Outros trabalhos também abordam desafios referentes às tecnologias de comunicação e informação de forma mais generalista.

Visando minimizar esse obstáculo, diversos trabalhos propõem modelos de arquitetura para as diversas formas que comprometem os sistemas, explorando oportunidades em *hardwares* para elevar os níveis de segurança e privacidade. Além disso, Wilding e Wheatley (2015), CERT-UK (2015) e Ch e Rao (2018) apresentam medidas para se proteger ou evitar ataques cibernéticos.

#### 4.3. IDENTIFICAÇÃO DOS BENEFÍCIOS E DESAFIOS PERCEBIDOS PELAS EMPRESAS AO IMPLANTAR AS TECNOLOGIAS ASSOCIADAS À INDÚSTRIA 4.0 NA SUPPLY CHAIN

Nesta seção, é apresentado o estudo de campo realizado com o objetivo de identificar as percepções das empresas quanto aos benefícios e desafios identificados na seção anterior na utilização das tecnologias da indústria tradicional e 4.0 na *Supply Chain*. Para isso, foi utilizado o questionário desenvolvido neste trabalho, conforme apresentado na seção 3.2.3.

Ao todo, quinze empresas de sete setores industriais diferentes participaram da pesquisa: automotivo, construção civil, maquinário, químico, metalúrgico, agroindustrial e alimentos e bebidas. A pesquisa englobou empresas de médio e grande porte, sendo 80% delas de grande porte e as demais, 20%, de médio. O Quadro 12 apresenta as empresas.

Quadro 12: Empresas participantes do estudo de campo

<b>Empresa</b>	<b>Descrição</b>
Empresa A	Há mais de 135 anos no mercado, é fornecedora global de tintas, revestimentos e materiais especiais para indústrias e lares em todo o mundo.
Empresa B	Fabricante líder mundial de equipamentos de construção e mineração, motores diesel e a gás natural, turbinas industriais a gás e locomotivas diesel-elétricas.
Empresa C	Empresa do setor civil com 35 anos de história, atuando nas áreas de Incorporação Imobiliária, Engenharia e Concessões.
Empresa D	Empresa de usinagem com especialização em peças automotivas e produção seriada.
Empresa E	Fornecedora líder global de tecnologia desde 1907, fornecendo rolamentos e acessórios, vedações, tecnologias de movimento, serviços e sistemas de lubrificação.
Empresa F	Líder mundial no fornecimento de tecnologia e serviços divididos em quatro setores de negócio: Soluções para Mobilidade, Tecnologia Industrial, Bens de Consumo e Energia e Tecnologia Predial.
Empresa G	Fornecedora global líder integrado dos setores automóvel e industrial, fornecendo componentes de precisão e sistemas para motores, transmissões e chassis, bem como soluções de rolamentos para uma grande variedade de aplicações industriais.
Empresa H	Fornecedora líder global de rodas de alumínio e aço para veículos leves e comerciais.
Empresa I	Empresa produtora de açúcar e etanol, geradora de bioenergia e distribuidora de combustíveis.
Empresa J	Líder em fornecimento mundial de peças originais para a indústria automotiva com mais de 30 anos de experiência.

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Quadro 12: Empresas participantes do estudo de campo (continuação)

<b>Empresa</b>	<b>Descrição</b>
Empresa K	Montadora sul coreana localizada no interior do estado de São Paulo, sendo está a 10ª fábrica da marca no mundo.
Empresa L	Maior empresa com capital 100% nacional do setor, produtora de cervejas, bebidas alcoólicas e não alcoólicas.
Empresa M	Líder no fornecimento de tecnologia, sistemas e componentes automotivos para os principais fabricantes de automóveis.
Empresa N	Maior produtora de soluções em armazenamento de água do Brasil e atualmente líder em seu segmento no mercado brasileiro.
Empresa O	Empresa multiespecializada em produtos e soluções voltados para a construção, desde a fundação da obra ao acabamento.

Fonte: elaborado pelo próprio autor

As respostas ao questionário foram obtidas por meio de diferentes cargos de liderança das empresas, sendo 13% dos pesquisados diretores, 40% gerentes, 20% supervisores, 13% coordenadores e 7% analistas e consultores, com variação entre três e vinte e três anos de atuação na empresa. O Quadro 13 apresenta essas informações com mais detalhes.

Quadro 13: Cargo e tempo de atuação dos respondentes

<b>Empresa</b>	<b>Respondente</b>	<b>Tempo de atuação do respondente (em anos)</b>
<b>A</b>	Gerente de Projetos	16
<b>B</b>	Gerente da Cadeia de Suprimentos	21
<b>C</b>	Coordenador da Qualidade	3
<b>D</b>	Gerente Comercial	16
<b>E</b>	Gerente de Projetos Logísticos	13
<b>F</b>	Analista de Logística	4
<b>G</b>	Supervisor de Planejamento Integrado	7
<b>H</b>	Supervisor de Planejamento - Produção e Vendas	4
<b>I</b>	Coordenador de Suprimentos	8
<b>J</b>	Gerente de planta	20
<b>K</b>	Supervisor de Manufatura	8
<b>L</b>	Gerente da Qualidade e Melhoria Contínua	8
<b>M</b>	Consultor de Vendas	6
<b>N</b>	Diretor	7
<b>O</b>	Diretor Industrial	23

Fonte: elaborado pelo próprio autor

A Figura 19 apresenta a quantidade de empresas que utilizam as tecnologias da indústria tradicional e da Indústria 4.0. Em relação à indústria tradicional, observa-se a maior utilização de tecnologias que visam integrar e trocar informações entre funções, clientes e fornecedores: *ERP* e *EDI*, ambas com aplicações em treze empresas, e *CRM*, com aplicação em doze.

Já em relação às tecnologias da Indústria 4.0, apesar de uma menor aderência por parte das empresas, duas tecnologias se destacam: Computação em nuvem, com aplicações em nove empresas; e *Big Data analytics*, com aplicações em sete. Observa-se também que, como na indústria tradicional, essas tecnologias permitem melhor integrar as funções, clientes e fornecedores, bem como permite aumentar a confiabilidade no compartilhamento de informações e analisar esses dados compartilhados para melhorar as decisões.

No entanto, as demais tecnologias de atualização da manufatura e de conexão com as operações globais da *Supply Chain* ainda são pouco empregadas nas empresas pesquisadas e requerem maiores esforços entre os parceiros para o desenvolvimento.

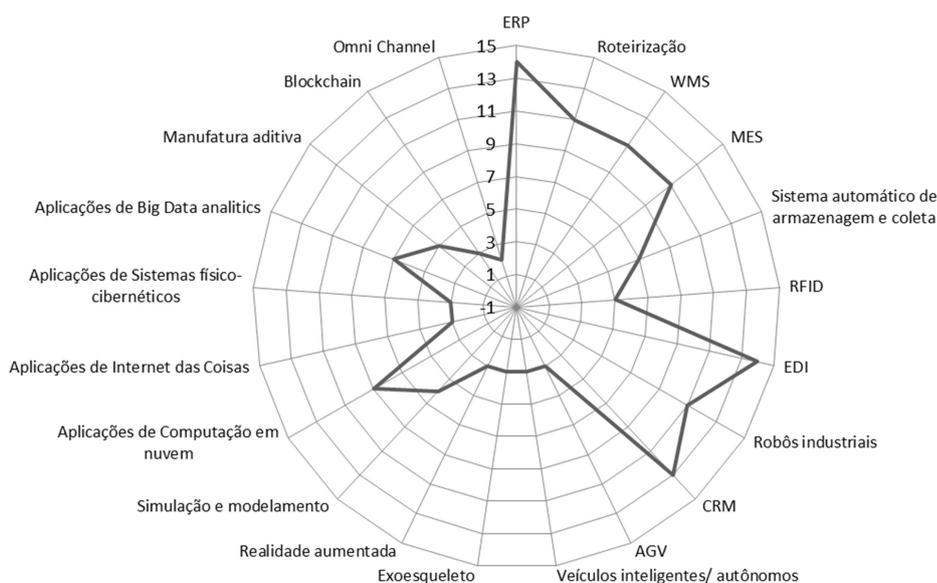


Figura 19: Quantidade de empresas que aplicam as tecnologias inseridas no contexto da indústria tradicional e da Indústria 4.0

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Nas Tabelas 7 e 8 estão apresentadas as percepções das empresas quanto aos benefícios decorrentes do uso das tecnologias da indústria tradicional e da Indústria 4.0 na *Supply Chain*, respectivamente. Os valores percentuais de cada benefício foram obtidos de acordo com a razão:

$$\frac{\text{Total de empresas que perceberam o desafio}}{\text{Total de empresas que utilizam a tecnologia}}$$

Dessa forma, os benefícios puderam ser analisados entre as tecnologias pesquisadas de forma isonômica, visto que elas não são empregadas na mesma proporção pelas empresas.

Em relação às tecnologias da Indústria tradicional, o benefício “melhor tomada de decisão” apresenta destaque em tecnologias como *ERP*, *CRM* e Sistema automático de armazenagem e coleta; sendo percebido por 78,6%, 76,9% e 71,4% das empresas respondentes, respectivamente.

O aumento na eficiência das operações foi amplamente citado no uso das tecnologias *WMS*, *MES*, Sistema automático de armazenagem e coleta, *RFID*, *EDI*, *AGV* e Exoesqueleto; em especial nas duas últimas, cuja percepção foi identificada por todas as empresas que as utilizam.

Adicionalmente, tecnologias como Sistema automático de armazenagem e coleta e *RFID* trouxeram maior capacidade de planejar, monitorar ou controlar em tempo real. Junto a esse benefício, o *MES* também forneceu as empresas maior acuracidade nos dados obtidos.

Demais benefícios foram identificados, em maior ou menor percentual grau pelas empresas, em pelo menos uma das tecnologias da indústria tradicional. No entanto, o Exoesqueleto foi a tecnologia com menos benefícios identificados; sendo eles: aumento na eficiência das operações (100%), maior confiabilidade nas atividades (67%) e redução dos riscos (33%).

Já em relação aos benefícios das tecnologias da Indústria 4.0, observa-se que 100% das empresas perceberam aumento da eficiência das operações por meio da inserção de tecnologias como *IoT*, veículos inteligentes / autônomos e Simulação e modelamento, e 90,9% delas por meio da inserção de Robôs

industriais. Com percentual de percepção menor, todas as tecnologias também foram citadas quanto a esse benefício.

Das empresas que usam a tecnologia Computação em Nuvem, 77,8% perceberam aumento no que diz respeito à segurança da informação. Adicionalmente, observa-se que todos os benefícios identificados na literatura foram citados por pelo menos 1/5 das empresas em relação a essa tecnologia, bem como em relação às aplicações de *Big Data analytics*.

Por fim, observa-se que a tecnologia *Omnichannel* apresentou apenas dois benefícios citados pelas empresas na pesquisa: eficiência operacional e novos modelos de negócio; ambos apontados por apenas uma das duas empresas que tem essa tecnologia inserida na função *Supply Chain*.

Tabela 7: Benefícios das tecnologias da indústria tradicional percebidas pelas empresas que as utilizam

<b>Tecnologia</b> <b>Benefícios percebidos</b>	<b>ERP</b>	<b>Roteirização</b>	<b>WMS</b>	<b>MES</b>	<b>Sistema automático de armazenagem e coleta</b>	<b>RFID</b>	<b>EDI</b>	<b>CRM</b>	<b>AGV</b>	<b>Exoesqueleto</b>
Melhor tomada de decisão	78,6%	63,6%	54,5%	45,5%	71,4%	20,0%	42,9%	76,9%	0,0%	0,0%
Eficiência operacional / Redução de custos operacionais	57,1%	63,6%	72,7%	81,8%	71,4%	80,0%	71,4%	30,8%	100,0%	100,0%
Transparência / Visibilidade nas operações	64,3%	27,3%	36,4%	63,6%	57,1%	60,0%	50,0%	46,2%	0,0%	0,0%
Segurança de informação / pessoas / recursos	42,9%	18,2%	36,4%	27,3%	42,9%	60,0%	42,9%	38,5%	0,0%	0,0%
Planejamento, monitoramento e/ou controle em tempo real	57,1%	45,5%	72,7%	81,8%	85,7%	80,0%	71,4%	46,2%	33,3%	0,0%
Melhor serviço ao cliente	35,7%	36,4%	45,5%	18,2%	28,6%	0,0%	50,0%	61,5%	0,0%	0,0%
Acuracidade de dados / informação	50,0%	9,1%	36,4%	81,8%	42,9%	20,0%	64,3%	46,2%	33,3%	0,0%
Melhor mensuração / redução de riscos	35,7%	18,2%	27,3%	45,5%	28,6%	0,0%	28,6%	46,2%	0,0%	33,3%
Análise preditiva e/ou e prescritiva de dados	28,6%	9,1%	18,2%	27,3%	14,3%	0,0%	21,4%	23,1%	0,0%	0,0%
Maior confiabilidade nas atividades	57,1%	27,3%	63,6%	45,5%	71,4%	40,0%	50,0%	30,8%	33,3%	66,7%
Flexibilidade nas operações	50,0%	18,2%	27,3%	54,5%	0,0%	0,0%	21,4%	23,1%	0,0%	0,0%
Integração com clientes e fornecedores	50,0%	27,3%	9,1%	0,0%	0,0%	0,0%	42,9%	46,2%	0,0%	0,0%
Lucro	21,4%	27,3%	0,0%	9,1%	14,3%	0,0%	14,3%	38,5%	0,0%	0,0%
Novos modelos de negócio	7,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	7,1%	38,5%	0,0%	0,0%
Automação das atividades	42,9%	18,2%	45,5%	45,5%	57,1%	20,0%	14,3%	15,4%	33,3%	0,0%
Benefícios ambientais	0,0%	27,3%	9,1%	9,1%	14,3%	0,0%	14,3%	7,7%	0,0%	0,0%
Maior inteligência em atividades do marketing	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	61,5%	0,0%	0,0%
Melhor previsão de demanda	57,1%	0,0%	18,2%	0,0%	14,3%	0,0%	28,6%	38,5%	0,0%	0,0%
Redução na complexidade em gerenciar a SC	35,7%	9,1%	36,4%	18,2%	14,3%	0,0%	28,6%	23,1%	0,0%	0,0%
Redução do time-to-market	14,3%	18,2%	27,3%	27,3%	14,3%	0,0%	21,4%	38,5%	0,0%	0,0%

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Tabela 8: Benefícios das tecnologias da Indústria 4.0 percebidas pelas empresas que as utilizam

<b>Tecnologia</b> <b>Benefícios percebidos</b>	<b>Robôs Industriais</b>	<b>Veículos Inteligentes/ Autônomos</b>	<b>Realidade Aumentada</b>	<b>Simulação e Modelamento</b>	<b>Aplicações de Computação em Nuvem</b>	<b>Aplicações de Internet das Coisas</b>	<b>Aplicações de Sistemas Físico-Cibernéticos</b>	<b>Aplicações de Big Data Analytics</b>	<b>Manufatura Aditiva</b>	<b>Blockchain</b>	<b>Omni Channel</b>
Melhor tomada de decisão	0,0%	66,7%	66,7%	66,7%	55,6%	33,3%	33,3%	57,1%	20,0%	33,3%	0,0%
Eficiência operacional / Redução de custos operacionais	90,9%	100,0%	66,7%	100,0%	66,7%	100,0%	66,7%	57,1%	60,0%	66,7%	50,0%
Transparência / Visibilidade nas operações	9,1%	0,0%	33,3%	50,0%	55,6%	33,3%	33,3%	28,6%	0,0%	33,3%	0,0%
Segurança de informação / pessoas / recursos	27,3%	0,0%	0,0%	0,0%	77,8%	33,3%	0,0%	28,6%	0,0%	66,7%	0,0%
Planejamento, monitoramento e/ou controle em tempo real	27,3%	66,7%	0,0%	33,3%	55,6%	66,7%	33,3%	42,9%	0,0%	0,0%	0,0%
Melhor serviço ao cliente	45,5%	33,3%	0,0%	33,3%	44,4%	33,3%	0,0%	42,9%	40,0%	33,3%	0,0%
Acuracidade de dados / informação	36,4%	0,0%	0,0%	50,0%	55,6%	33,3%	33,3%	42,9%	0,0%	33,3%	0,0%
Melhor mensuração / redução de riscos	27,3%	0,0%	0,0%	66,7%	22,2%	66,7%	66,7%	57,1%	0,0%	66,7%	0,0%
Análise preditiva e/ou e prescritiva de dados	18,2%	33,3%	0,0%	50,0%	33,3%	33,3%	0,0%	57,1%	0,0%	33,3%	0,0%
Maior confiabilidade nas atividades	54,5%	33,3%	0,0%	66,7%	33,3%	66,7%	33,3%	42,9%	0,0%	33,3%	0,0%
Flexibilidade nas operações	27,3%	0,0%	0,0%	16,7%	44,4%	66,7%	0,0%	28,6%	40,0%	33,3%	0,0%
Integração com clientes e fornecedores	0,0%	0,0%	0,0%	16,7%	33,3%	33,3%	0,0%	42,9%	0,0%	0,0%	0,0%
Lucro	27,3%	0,0%	0,0%	33,3%	33,3%	33,3%	0,0%	42,9%	0,0%	0,0%	0,0%
Novos modelos de negócio	0,0%	0,0%	33,3%	33,3%	22,2%	0,0%	66,7%	42,9%	40,0%	33,3%	50,0%
Automação das atividades	27,3%	33,3%	0,0%	16,7%	22,2%	33,3%	0,0%	42,9%	0,0%	66,7%	0,0%
Benefícios ambientais	18,2%	0,0%	0,0%	16,7%	33,3%	33,3%	33,3%	28,6%	20,0%	0,0%	0,0%
Maior inteligência em atividades do marketing	0,0%	0,0%	0,0%	16,7%	44,4%	0,0%	33,3%	42,9%	0,0%	0,0%	0,0%
Melhor previsão de demanda	9,1%	0,0%	0,0%	0,0%	33,3%	0,0%	33,3%	57,1%	0,0%	0,0%	0,0%
Redução na complexidade em gerenciar a SC	0,0%	33,3%	33,3%	0,0%	22,2%	33,3%	0,0%	42,9%	0,0%	33,3%	0,0%
Redução do time-to-market	0,0%	0,0%	0,0%	16,7%	22,2%	0,0%	33,3%	42,9%	20,0%	0,0%	0,0%

Fonte: elaborado pelo próprio autor

As Tabelas 9 e 10 apresentam as percepções das empresas quanto aos desafios das tecnologias da indústria tradicional e da Indústria 4.0 na *Supply Chain*, respectivamente. Da mesma forma como realizado para os benefícios, para uma análise isonômica, os valores percentuais de cada desafio foram obtidos de acordo com a razão:

$$\frac{\text{Total de empresas que perceberam o desafio}}{\text{Total de empresas que utilizam a tecnologia}}$$

Em relação às tecnologias da indústria tradicional, *RFID*, *AGV* e Exoesqueleto, tecnologias com baixo índice de utilização nas empresas (cinco, três e três, respectivamente), apresentaram menores índices de percepção de desafios. Na inserção do *AGV* na *Supply Chain*, duas das três empresas que a utilizam apontaram a falta de iniciativa, habilidades ou conhecimentos insuficientes e o medo de mudança por parte dos colaboradores na sua inserção.

Na tecnologia Sistema automático de armazenagem e coleta, 71,4% das empresas perceberam como desafios a serem enfrentados o alto investimento financeiro e a necessidade em substituir o recurso humano pela automação das atividades provida pela tecnologia.

Adicionalmente, as diferentes dinâmicas e estruturas temporais dos processos fabris foi um desafio identificado por 83,3% das empresas que utilizam o *ERP*. Destaca-se, também, o desafio “Investimento financeiro”, desafio percebido pelas empresas em relação a todas as tecnologias da indústria tradicional.

Em relação às tecnologias da Indústria 4.0, observa-se o baixo índice de percepção apresentado pelas empresas em relação aos desafios. Respostas em que desafios não foram identificados pelas tecnologias representam 61% do total. No entanto, destacam-se os maiores percentuais quanto ao uso das tecnologias da Indústria 4.0 pelas empresas: (1) investimentos financeiros para desenvolver tecnologias como *Big Data analytics* (71,4%) e Internet das Coisas, Computação em Nuvem, Sistemas Físico-Cibernéticos e *Blockchain* (66,7%) e, (2) problemas com segurança / privacidade nas aplicações de Computação em Nuvem (55,6%).

Tabela 9: Desafios das tecnologias da indústria tradicional percebidas pelas empresas que as utilizam

<b>Tecnologia</b> <b>Desafios percebidos</b>	<b>ERP</b>	<b>Roteirização</b>	<b>WMS</b>	<b>MES</b>	<b>Sistema automático de armazenagem e coleta</b>	<b>RFID</b>	<b>EDI</b>	<b>CRM</b>	<b>AGV</b>	<b>Exoesqueleto</b>
Diferentes dinâmicas e estruturas temporais dos processos fabris	71,4%	45,5%	18,2%	36,4%	0,0%	0,0%	42,9%	15,4%	0,0%	33,3%
Falta de iniciativa, habilidades e/ou conhecimentos insuficientes	57,1%	9,1%	18,2%	36,4%	14,3%	0,0%	35,7%	15,4%	66,7%	0,0%
Tecnologias imaturas	7,1%	9,1%	9,1%	18,2%	14,3%	20,0%	7,1%	23,1%	0,0%	0,0%
Desafios ambientais	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Investimento financeiro	64,3%	36,4%	54,5%	54,5%	71,4%	40,0%	35,7%	46,2%	33,3%	33,3%
Padronização / Políticas legislativas	14,3%	9,1%	0,0%	0,0%	28,6%	0,0%	7,1%	7,7%	0,0%	0,0%
Dificuldade em adaptar aos novos modelos de negócio	35,7%	18,2%	18,2%	18,2%	0,0%	0,0%	28,6%	46,2%	0,0%	0,0%
Problemas relacionados ao alinhamento estratégico, entre funções e empresas e de governança	28,6%	0,0%	9,1%	9,1%	14,3%	0,0%	35,7%	30,8%	0,0%	0,0%
Problemas na cooperação entre os múltiplos participantes da SC	35,7%	18,2%	27,3%	27,3%	0,0%	0,0%	35,7%	30,8%	0,0%	0,0%
Falta de capacidade de combinar dados / obter dados de qualidade	28,6%	0,0%	0,0%	18,2%	14,3%	20,0%	35,7%	23,1%	0,0%	0,0%
Medo de mudança	28,6%	0,0%	27,3%	18,2%	28,6%	0,0%	28,6%	7,7%	66,7%	33,3%
Dificuldades na relação homem - tecnologia	28,6%	27,3%	18,2%	45,5%	28,6%	0,0%	35,7%	7,7%	0,0%	33,3%
Substituição do recurso humano / Demissão	14,3%	18,2%	9,1%	9,1%	71,4%	0,0%	7,1%	0,0%	33,3%	0,0%
Alto grau de informatização / Requisitos e estratégias de computação	21,4%	0,0%	0,0%	9,1%	14,3%	20,0%	14,3%	15,4%	0,0%	0,0%
Problemas com compatibilidade dos sistemas	28,6%	18,2%	9,1%	27,3%	14,3%	20,0%	28,6%	23,1%	0,0%	0,0%
Problemas com complexidade dos sistemas	35,7%	9,1%	27,3%	27,3%	14,3%	0,0%	28,6%	30,8%	0,0%	0,0%
Problemas com confiabilidade; robustez e interoperabilidade dos sistemas	7,1%	9,1%	9,1%	0,0%	0,0%	0,0%	14,3%	7,7%	0,0%	0,0%
Desafios em armazenar, descobrir e compartilhar dados	14,3%	18,2%	36,4%	27,3%	14,3%	0,0%	28,6%	23,1%	0,0%	0,0%
Problemas com escalabilidade	0,0%	0,0%	9,1%	0,0%	0,0%	0,0%	14,3%	0,0%	33,3%	0,0%
Problemas com segurança / privacidade	21,4%	9,1%	9,1%	9,1%	0,0%	0,0%	35,7%	30,8%	0,0%	0,0%

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Tabela 10: Desafios das tecnologias da Indústria 4.0 percebidas pelas empresas que as utilizam

Desafios percebidos	Tecnologia										
	Robôs Industriais	Veículos Inteligentes/ Autônomos	Realidade Aumentada	Simulação e Modelamento	Aplicações de Computação em Nuvem	Aplicações de Internet das Coisas	Aplicações de Sistemas Físico-Cibernéticos	Aplicações de Big Data Analíticas	Manufatura Aditiva	Blockchain	Omni Channel
Diferentes dinâmicas e estruturas temporais dos processos fabris	27,3%	0,0%	0,0%	16,7%	22,2%	0,0%	0,0%	14,3%	0,0%	33,3%	0,0%
Falta de iniciativa, habilidades e/ou conhecimentos insuficientes	18,2%	0,0%	0,0%	33,3%	22,2%	0,0%	0,0%	14,3%	20,0%	0,0%	0,0%
Tecnologias imaturas	18,2%	0,0%	33,3%	0,0%	33,3%	0,0%	0,0%	14,3%	0,0%	0,0%	0,0%
Desafios ambientais	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	11,1%	0,0%	0,0%	14,3%	0,0%	0,0%	0,0%
Investimento financeiro	27,3%	0,0%	33,3%	16,7%	66,7%	66,7%	66,7%	71,4%	20,0%	66,7%	50,0%
Padronização / Políticas legislativas	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	14,3%	0,0%	0,0%	0,0%
Dificuldade em adaptar aos novos modelos de negócio	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	33,3%	0,0%	14,3%	0,0%	0,0%	0,0%
Problemas relacionados ao alinhamento estratégico, entre funções e empresas e de governança	9,1%	0,0%	0,0%	0,0%	11,1%	0,0%	0,0%	14,3%	0,0%	0,0%	0,0%
Problemas na cooperação entre os múltiplos participantes da SC	0,0%	0,0%	0,0%	16,7%	0,0%	0,0%	0,0%	14,3%	0,0%	0,0%	0,0%
Falta de capacidade de combinar dados / obter dados de qualidade	0,0%	0,0%	0,0%	16,7%	11,1%	0,0%	0,0%	14,3%	0,0%	0,0%	0,0%
Medo de mudança	36,4%	33,3%	33,3%	16,7%	22,2%	33,3%	33,3%	42,9%	0,0%	33,3%	50,0%
Dificuldades na relação homem - tecnologia	18,2%	33,3%	33,3%	16,7%	33,3%	0,0%	0,0%	28,6%	0,0%	33,3%	0,0%
Substituição do recurso humano / Demissão	36,4%	0,0%	0,0%	0,0%	11,1%	0,0%	0,0%	14,3%	20,0%	0,0%	0,0%
Alto grau de informatização / Requisitos e estratégias de computação	18,2%	0,0%	0,0%	16,7%	22,2%	0,0%	0,0%	14,3%	0,0%	33,3%	0,0%
Problemas com compatibilidade dos sistemas	0,0%	0,0%	0,0%	16,7%	44,4%	0,0%	0,0%	28,6%	0,0%	33,3%	0,0%
Problemas com complexidade dos sistemas	9,1%	0,0%	0,0%	16,7%	33,3%	0,0%	0,0%	28,6%	0,0%	33,3%	0,0%
Problemas com confiabilidade; robustez e interoperabilidade dos sistemas	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	33,3%	0,0%	0,0%	28,6%	0,0%	33,3%	0,0%
Desafios em armazenar, descobrir e compartilhar dados	0,0%	0,0%	0,0%	16,7%	44,4%	0,0%	0,0%	42,9%	0,0%	33,3%	0,0%
Problemas com escalabilidade	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	33,3%	0,0%	0,0%	14,3%	0,0%	0,0%	0,0%
Problemas com segurança / privacidade	0,0%	0,0%	0,0%	16,7%	55,6%	0,0%	0,0%	42,9%	0,0%	33,3%	0,0%

Fonte: elaborado pelo próprio autor

## 5. CONCLUSÕES

A complexidade da *Supply Chain* vem aumentando cada vez mais e impõe diversos desafios para as empresas. Uma das formas de enfrentar esses desafios é por meio do uso das tecnologias da Indústria 4.0. Por ser um conceito novo e ainda em fase de desenvolvimento, observa-se que ainda não estão totalmente esclarecidos e explorados os reais impactos das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain*. Este trabalho teve como objetivo identificar e analisar os benefícios e desafios que as tecnologias da Indústria 4.0 causam na *Supply Chain*, bem como captar a percepção das empresas com relação a esses benefícios e desafios.

Na literatura, foram identificados vinte benefícios e vinte desafios decorrentes da inserção das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain*. Dentre os benefícios mais citados pelos autores, estão: (1) aumento da eficiência operacional / redução dos custos operacionais; (2) transparência / visibilidade; (3) planejamento, monitoramento e/ou controle em tempo real; (4) melhor tomada de decisão e; (5) melhor integração da *Supply Chain*. Já em relação aos desafios, os mais citados são: (1) segurança e privacidade; (2) padronização e falta de políticas legislativas; (3) falta de capacidade de combinar dados e obtê-los com qualidade; (4) desafios de armazenagem e uso dos dados e; (5) investimento financeiro.

O estudo de campo para captar as percepções das empresas quanto aos impactos das tecnologias da indústria tradicional e da Indústria 4.0 na *Supply Chain* permitiu verificar que os benefícios e desafios identificados na literatura também foram percebidos pelas empresas pesquisadas que utilizam tais tecnologias. Os benefícios mais citados no estudo de campo foram: (1) melhor tomada de decisão, (2) aumento da eficiência operacional e (3) melhor capacidade em planejar, monitorar ou controlar em tempo real. Quanto aos desafios, os mais mencionados foram o investimento financeiro necessário para o desenvolvimento das tecnologias e os riscos com a segurança e

privacidade das informações. Observa-se que o estudo de campo aponta uma convergência com a literatura, evidenciando que os benefícios e desafios mais relevantes são abordados tanto na prática quanto na teoria.

Este trabalho também contribui com a teoria sobre *Supply Chain*, pois identifica e apresenta de forma sistematizada os benefícios e desafios decorrentes do uso das tecnologias da Indústria 4.0 na SC.

Como dificuldade deste trabalho, destaca-se a falta de interesse e disponibilidade das empresas em cooperarem com a academia no sentido de desenvolver e difundir conhecimento.

Por se tratar de um assunto novo, novos trabalhos abordando os impactos das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain* devem surgir, tornando necessária uma atualização dinâmica da identificação e análise desses impactos. Adicionalmente, verifica-se a necessidade de dados práticos que permitam a inferência estatística quanto aos impactos dessas tecnologias na *Supply Chain*.

Como trabalhos futuros sugere-se o desenvolvimento de métodos para avaliar quantitativamente os impactos das tecnologias da Indústria 4.0 na *Supply Chain*. Sugere-se também o desenvolvimento de modelos que orientem as empresas na implantação dessas tecnologias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACATECH – Industry 4.0 maturity index: managing the digital transformation of companies. **Acatech Study**, 2017.

AGRAWAL, S.; DAS, M. L. Internet of Things—A paradigm shift of future Internet applications. **2011 Nirma University International Conference on Engineering on IEEE**, p. 1-7, 2011.

AHRAM, T.; SARGOLZAEI, A.; SARGOLZAEI, S.; DANIELS, J.; AMABA, B. Blockchain technology innovations. **2017 IEEE Technology & Engineering Management Conference (TEMSCON)**. IEEE, p. 137-141, 2017.

ALOTAIBI, S.; MEHMOOD, R. Big Data Enabled Healthcare Supply Chain Management: Opportunities and Challenges. **International Conference on Smart Cities, Infrastructure, Technologies and Applications**. Springer, Cham, p. 207-215, 2017.

ALICKE, K.; REXHAUSEN, D.; SEYFERT, A. Supply Chain 4.0 in consumer goods. **McKinsey & Company**, 2016. Disponível em: <<http://www.mckinsey.com/industries/consumer-packaged-goods/our-insights/supply-chain-4-0-in-consumer-goods>>. Acesso em 13 de junho de 2017.

AMUDHAVEL, J. et al. Perspectives, Motivations and Implications Of Big Data Analytics. **Proceedings of the 2015 International Conference on Advanced Research in Computer Science Engineering & Technology (ICARCSET 2015)**. ACM, 2015.

ANDERL, Reiner. Industrie 4.0—technological approaches, use cases, and implementation. **Automatisierungstechnik**, v. 63, n. 10, p. 753-765, 2015.

ARYA, V.; SHARMA, P.; SINGH, A.; DE SILVA, P. T. M. An exploratory study on supply chain analytics applied to spare parts supply chain. **Benchmarking: An International Journal**, v. 24, n. 6, p. 1571-1580, 2017.

ARTHUR, L. What is big data?. **Forbes Magazine**, 2013. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/lisaarthur/2013/08/15/what-is-big-data/#189fcc6d5c85>. Acessado em: 08/07/2018.

ATASHBAR, N. Z.; LABADIE, N.; PRINS, C. Modeling and optimization of biomass supply chains: A review and a critical look. **IFAC-PapersOnLine**, v. 49, n. 12, p. 604-615, 2016.

AYERS, J. B. **Handbook of supply chain management**. Boca Raton: St. Lucie Press, 2006.

BAILEY, G; MOSS, C; WHITTAKER, J. F.; MILLETTE, A. L. Digital Supply Chains: A Frontside Flip. **Digital Supply Chain Institute**, 2016. Disponível em: <https://www.thecge.net/dsci/>. Acesso em 21 de julho de 2018.

BALLOU, R. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos / Logística Empresarial**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BANERJEE, A. Blockchain technology: supply chain insights from ERP. **Advances in Computers**. Elsevier, v. 111, p. 69-98, 2018.

BÄR, K., HERBERT-HANSEN, Z. N. L., & KHALID, W. Considering Industry 4.0 aspects in the supply chain for an SME. **Production Engineering**, v. 12, n. 6, p. 747-758, 2018.

BARBOSA, M. W.; VICENTE, A. D. L. C.; LADEIRA, M. B.; Oliveira, M. P. V. D. Managing supply chain resources with Big Data Analytics: a systematic review. **International Journal of Logistics Research and Applications**, v. 21, n. 3, p. 177-200, 2018.

BARRETO, L.; AMARAL, A.; PEREIRA, T. Industry 4.0 implications in logistics: an overview. **Procedia Manufacturing**, v. 13, p. 1245-1252, 2017.

BASNET, C. The measurement of internal supply chain integration. **Management Research Review**, v. 36, n. 2, p. 153-172, 2013.

BEAMON, B. M. Supply chain design and analysis: Models and methods. **International journal of production economics**, v. 55, n. 3, p. 281-294, 1998.

BEESELEY, A. Time compression in the supply chain. **Industrial Management & Data Systems**, v. 96, n. 2, p. 12-16, 1996.

BEINSCHOB, P.; MEYER, M.; REINKE, C.; DIGANI, V.; SECCHI, C.; SABATTINI, L. Semi-automated map creation for last deployment of AGV fleets in modern logistics. **Robotics and Autonomous Systems**, p. 281-295, 2017.

BENABDELLAH, A. C.; BENGHABRIT, A.; & BOUHADDOU, I. Big data for supply chain management: opportunities and challenges. **2016 IEEE/ACS 13th International Conference of Computer Systems and Applications (AICCSA)**, p. 1-6, 2016.

BERNERS-LEE, T.; HENDLER, J.; LASSILA, O. The Semantic Web. A new form of Web content that is meaningful to computers will unleash a revolution of new possibilities. **Scientific American**, v. 284, n. 5, p. 3, 2001.

BHARGAVA, B.; RANCHAL, R.; OTHMANE, L. B. Secure information sharing in digital supply chains. **2013 IEEE 3rd International Advance Computing Conference (IACC)**. IEEE, p. 1636-1640, 2013.

BIENHAUS, F.; HADDUD, A. Procurement 4.0: factors influencing the digitisation of procurement and supply chains. **Business Process Management Journal**, 2018.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B. **Gestão logística da cadeia de suprimentos**. São Paulo: Editora Bookman, 2006.

BRYCESON, K. P.; SLAUGHTER, G. Alignment of performance metrics in a multi-enterprise agribusiness: achieving integrated autonomy?. **International journal of productivity and performance management**, v. 59, n. 4, p. 325-350, 2010.

BUDA, A.; FRÄMLING, K.; BORGMAN, J.; MADHIKERMI, M.; MIRZAEIFAR, S.; KUBLER, S. Data supply chain in industrial internet. 2015 IEEE World Conference on Factory Communication Systems (WFCS). **IEEE**, p. 1-7, 2015.

BURMESTER, M.; MUNILLA, J.; ORTIZ, A.; CABALLERO-GIL, P. An RFID-Based Smart Structure for the Supply Chain: Resilient Scanning Proofs and Ownership Transfer with Positive Secrecy Capacity Channels. **Sensors**, v. 17, n. 7, p. 1562, 2017.

BÜYÜKÖZKAN, G.; GÖÇER, F. An extension of ARAS methodology based on interval valued intuitionistic fuzzy group decision making for digital supply chain. **2017 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)**, p. 1-6, 2017.

BÜYÜKÖZKAN, G.; GÖÇER, F. An extension of MOORA approach for group decision making based on interval valued intuitionistic fuzzy numbers in digital supply chain. **2017 Joint 17th World Congress of International Fuzzy Systems Association and 9th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (IFSA-SCIS)**. IEEE, p. 1-6, 2017.

BÜYÜKÖZKAN, G.; GÖÇER, F.. Digital Supply Chain: Literature review and a proposed framework for future research. **Computers in Industry**, v. 97, p. 157-177, 2018.

CARO, F.; SADR, R. The Internet of Things (IoT) in retail: Bridging supply and demand. **Business Horizons**, v. 62, n. 1, p. 47-54, 2019.

CARVALHO, H., PIMENTEL, C., AZEVEDO, S., VELEZ, J. Advanced technologies supporting smart supply chain business processes. **7th International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain (ILS 2018)**, 2018.

CASEY, M.; WONG, P. Global supply chains are about to get better, thanks to blockchain. **Harvard business review**, v. 13, 2017.

CECERE, L. Digital Supply Chain – Insights on Driving the Digital Supply Chain Transformation. **Supply Chain Insights**, 2014. Disponível em:

<http://supplychaininsights.com/digital-supply-chain-insights-on-driving-the-digital-supply-chain-transformation/>. Acessado em: 08/07/2018.

CERP-IoT. **Internet of Things Strategic Research Roadmap**, Disponível em: [http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IoT\\_Cluster\\_Strategic\\_Research\\_Agenda\\_2009.pdf](http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IoT_Cluster_Strategic_Research_Agenda_2009.pdf), 2009. Acessado em: 08/07/2018.

CERT-UK. **Cyber-security risks in the supply chain**, 2015. Disponível em: < [https://www.ncsc.gov.uk/content/files/protected\\_files/guidance\\_files/Cyber-security-risks-in-the-supply-chain.pdf](https://www.ncsc.gov.uk/content/files/protected_files/guidance_files/Cyber-security-risks-in-the-supply-chain.pdf) >. Acesso em: 07 maio 2018.

CGI. **Industry 4.0: Making your business more competitive**. Inglaterra, 2017.

CH, M. K.; RAO, M. K. Critical review attacks and countermeasures in internet of things enabled environments. **International Journal of Engineering & Technology**, v. 7, n. 2.7, 2018.

CHAKROUN, A.; EL BOUCHTI, A.; ABBAR, H. Logistics and Supply Chain Analytics: Benefits and Challenges. 2018 Second World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (WorldS4). **IEEE**, p. 44-50, 2018.

CHAN, F. T. S. Performance measurement in a supply chain. **The international journal of advanced manufacturing technology**, v. 21, n. 7, p. 534-548, 2003.

CHANG, P. Y.; HWANG, M. S.; YANG, C. C. A Blockchain-Based Traceable Certification System. **International Conference on Security with Intelligent Computing and Big-data Services**. Springer, Cham, p. 363-369, 2018.

CHAMEKH, M.; HAMDJ, M.; EL ASMI, S. A new architecture for supply-chain management. **2017 14th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)**, IEEE, 2017. p. 77-82.

CHASE, R. B.; AQUILANO, N. J.; JACOBS, F. R. **Operations management for competitive advantage**, 2004.

CHEN, R. Y. Intelligent Predictive Food Traceability Cyber Physical System in Agriculture Food Supply Chain. **Journal of Physics: Conference Series**, 2018.

CHEN, H.; XUE, G.; WANG, Z. Efficient and reliable missing tag identification for large-scale RFID systems with unknown tags. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 4, n. 3, p. 736-748, 2017.

CHOI, T. M.; WALLACE, S.W.; WANG, Y.. Big data analytics in operations management. **Production and Operations Management**, v. 27, n. 10, p. 1868-1883, 2018.

CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos - estratégias para a redução de custos e melhoria dos serviços**. São Paulo: Editora Pioneira, 2001.

CHRISTOPHER, M.; RYALS, L. Supply Chain Strategy: its impact on shareholder value. **The International Journal of Logistics Management**, v.10, n. 1, p. 1-10, 1999.

CHUGH, N.; KUMAR, A.; AGGARWAL, A. Security aspects of a RFID-sensor integrated low-powered devices for internet-of-things. **2016 Fourth International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing (PDGC)**, IEEE, p. 759-763, 2016.

CLANCY, H. The blockchain's emerging role in sustainability. **GreenBiz**, 2017. Disponível em: <https://www.greenbiz.com/article/blockchains-emerging-role-sustainability>. Acesso em 2 de novembro de 2018.

CORICI, A. A.; EMMELMANN, M.; LUO, J.; SHRESTHA, R.; CORICI, M.; MAGEDANZ, T. IoT inter-security domain trust transfer and service dispatch solution. **2016 IEEE 3rd World Forum on Internet of Things (WF-IoT)**, IEEE, p. 694-699, 2016.

CORIGUAZI, D. M. C. **Modelo de avaliação do nível de preparo de empresas de manufatura para implantação do conceito Indústria 4.0 na logística interna**. Dissertação (Dissertação em engenharia de produção) – UNIMEP. Santa Bárbara D'Oeste, 2018.

CRUZ-JESUS, F.; PINHEIRO, A.; OLIVEIRA, T. Understanding CRM adoption stages: empirical analysis building on the TOE framework. **Computers in Industry**, v. 109, p. 1-13, 2019.

CUI, Y. Improving supply chain resilience with employment of IoT. **International Conference on Multidisciplinary Social Networks Research**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 404-414, 2015.

DALLASEGA, P.; ROJAS, R. A.; RAUCH, E.; MATT, D. T. Simulation based validation of supply chain effects through ICT enabled real-time-capability in ETO production planning. **Procedia Manufacturing**, v. 11, p. 846-853, 2017.

DALMARCO, G.; BARROS, A. C. Adoption of Industry 4.0 Technologies in Supply Chains. **Innovation and Supply Chain Management: Relationship, Collaboration and Strategies**, p. 303-319, 2018.

DAS, M. L.. Privacy and Security Challenges in Internet of Things. **International Conference on Distributed Computing and Internet Technology**. Springer, Cham, p. 33-48, 2015.

DAVIES, R. Industry 4.0: Digitalisation for productivity and growth. Briefing from EPRS. **European Parliamentary Research Service**, 2015. Disponível em:

<[http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS\\_BR I\(2015\)568337\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BR I(2015)568337_EN.pdf)>. Acesso em 12 de maio de 2017.

DRAKE, M. Global supply chain management. **Business Expert Press**, 2012.

DWEEKAT, A. J.; HWANG, G.; PARK, J. A supply chain performance measurement approach using the internet of things. **Industrial Management & Data Systems**, v.117 n. 2, p. 267-286, 2017.

DWEEKAT, A. J.; PARK, J. Internet of Things-Enabled Supply Chain Performance Measurement Model. **2016 International Conference on Industrial Engineering, Management Science and Application (ICIMSA)**. IEEE, p. 1-3, 2016.

EVDOKIMOV, S., FABIAN, B., GÜNTHER, O., IVANTYSNOVA, L., ZIEKOW, H. RFID and the internet of things: Technology, applications, and security challenges. **Foundations and Trends® in Technology, Information and Operations Management**, v. 4, n. 2, p. 105-185, 2011.

ESMAEILIAN, Behzad; BEHDAD, Sara; WANG, Ben. The evolution and future of manufacturing: A review. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 39, p. 79-100, 2016.

EY. **Internet of Things Human-machine interactions that unlock possibilities**, 2016. Disponível em: [https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-m-e-internet-of-things/\\$FILE/ey-m-e-internet-of-things.pdf](https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-m-e-internet-of-things/$FILE/ey-m-e-internet-of-things.pdf). Acesso em: 10/03/2019.

FARAHANI, P.; MEIER, C.; WILKE, J. Digital supply chain management agenda for the automotive supplier industry. **Shaping the digital enterprise**. Springer, Cham, p. 157-172, 2017.

FAWCETT, S. E.; MAGNAN, G. M. The rhetoric and reality of supply chain integration. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 32, n. 5, p. 339-361, 2002.

FIAIDHI, J.; MOHAMMED, S.; MOHAMMED, S. EDI with Blockchain as an Enabler for Extreme Automation. **IT Professional**, v. 20, n. 4, p. 66-72, 2018.

FIGUEIREDO, A.; DINIZ, J.; PORTO, L.; COSTA, I. Diagnóstico para sustentação da escolha de modelo de roteirização em organização de base econômica familiar. **Revista Brasileira de Gestão Desenvolvimento Regional**, p. 3-19, 2007.

FLORIAN, M.; KEMPER, J.; SIHN, W.; HELLINGRATH, B. Concept of transport-oriented scheduling for reduction of inbound logistics traffic in the automotive industries. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v.4, 2011.

FLYNN, B. B.; HUO, B.; ZHAO, X. The impact of supply chain integration on performance: A contingency and configuration approach. **Journal of Operations Management**, v. 28, n. 1, p. 58-71, 2010.

FORE, V.; KHANNA, A.; TOMAR, R.; MISHRA, A. Intelligent supply chain management system. **2016 International Conference on Advances in Computing and Communication Engineering (ICACCE)**, IEEE, p. 296-302, 2016.

FRAJ, R. B.; BEROULLE, V.; FOURTY, N.; MEDDEB, A. A global approach for the improvement of UHF RFID safety and security. **2017 12th International Conference on Design & Technology of Integrated Systems In Nanoscale Era (DTIS)**, p. 1-2, 2017.

FRAUNHOFER. **Neues Exoskelett für maximale Bewegungsfreiheit.** Disponível em: [http://www.ipa.fraunhofer.de/exoskelett\\_bewegungsfreiheit.html](http://www.ipa.fraunhofer.de/exoskelett_bewegungsfreiheit.html). Acesso em: 8 Março 2019.

FROHLICH, M. T.; WESTBROOK, R. Arcs of integration: an international study of supply chain strategies. **Journal of operations management**, v. 19, n. 2, p. 185-200, 2001.

GARRIDO-MORENO, A.; LOCKETT, N.; GARCÍA-MORALES, V. Paving the way for CRM success: The mediating role of knowledge management and organizational commitment. **Information & Management**, v. 51, n. 8, p. 1031-1042, 2014.

GEISSBAUER, R.; VEDSO, J.; SCHRAUF, S. Industry 4.0: Building the digital enterprise. **PwC**. Alemanha, 2016

GHOBAKHLOO, M. The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2018.

GU, C. Fast discrepancy identification for RFID-enabled IoT networks. **IEEE Access**, v. 6, p. 6194-6204, 2018.

GUARRAIA, P.; GERSTENHABER, G.; ATHANASSIOU, M.; BOUTOT, P. H. The intangible benefits of a digital supply chain. **Bain & Company**, p. 1-2, 2015.

GUNASEKARAN, A.; YUSUF, Y. Y.; ADELEYE, E. O.; PAPADOPOULOS, T. Agile manufacturing practices: the role of big data and business analytics with multiple case studies. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 1-2, p. 385-397, 2018.

HADDUD, A.; DESOUZA, A.; KHARE, A.; LEE, H.. Examining potential benefits and challenges associated with the Internet of Things integration in supply chains. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 28, n. 8, p. 1055-1085, 2017.

HAHN, G. J.; PACKOWSKI, J. A perspective on applications of in-memory analytics in supply chain management. **Decision Support Systems**, v. 76, p. 45-52, 2015.

HALLMAN, S.; RAKHIMOV, J.; PLAISENT, M.; BERNARD, P. BIG DATA: Preconditions to Productivity. **2014 IEEE 13th International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom)**, p. 727-731, 2014.

HANIFAN, G.; SHARMA, A.; NEWBERRY, C. The digital supply network: a new paradigm for supply chain management. **Accenture Global Management Consulting**, p. 1-8, 2014.

HARRISON, R.; VERA, D.; AHMAD, B. Engineering methods and tools for cyber-physical automation systems. **Proceedings of the IEEE**, v. 104, n. 5, p. 973-985, 2016.

HASANAN, N. Z. N.; YUSOFF, Y. M. Short review: Application Areas of Industry 4.0 Technologies in Food Processing Sector. 2018 IEEE Student Conference on Research and Development (SCOREd). **IEEE**, p. 1-6, 2018

HE, H.; MAPLE, C.; WATSON, T.; TIWARI, A.; MEHNEN, J.; JIN, Y.; GABRYS, B. The security challenges in the IoT enabled cyber-physical systems and opportunities for evolutionary computing & other computational intelligence. **2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)**, p. 1015-1021, 2016.

HE, M.; JI, H.; WANG, Q.; REN, C.; LOUGEE, R. Big data fueled process management of supply risks: sensing, prediction, evaluation and mitigation. Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference. **IEEE Press**, p. 1005-1013, 2014.

HE, M., REN, C., WANG, Q., SHAO, B., DONG, J. The internet of things as an enabler to supply chain innovation. **2010 IEEE 7th International Conference on E-Business Engineering**. IEEE, p. 326-33, 2010.

HEANEY, B. Supply Chain Visibility: A Critical Strategy to Optimize Cost and Service. **Aberdeen Group**, v.20, 2013. Disponível em: [https://www.gs1.org/docs/visibility/Supply\\_Chain\\_Visibility\\_Aberdeen\\_Report.pdf](https://www.gs1.org/docs/visibility/Supply_Chain_Visibility_Aberdeen_Report.pdf). Acessado em 20/11/2017.

HIROMOTO, R. E.; HANEY, M.; VAKANSKI, A. A secure architecture for IoT with supply chain risk management. **2017 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)**, p. 431-435, 2017.

HOFFA, P.; JASIULEWICZ-KACZMAREK, M.; PAWLEWSKI, P. Multidimensional approach to the supply chain. **IFAC-PapersOnLine**, v. 48, n. 3, p. 2121-2126, 2015.

HOFMANN, E.; RUTSCHMANN, E. Big data analytics and demand forecasting in supply chains: a conceptual analysis. **The international journal of logistics management**, v. 29, n. 2, p. 739-766, 2018.

HOLLAND, M.; STJEPANDIĆ, J.; NIGISCHER, C. Intellectual property protection of 3D print supply chain with blockchain technology. 2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC). **IEEE**, p. 1-8, 2018.

HOLMSTRÖM, J.; GUTOWSKI, T. Additive manufacturing in operations and supply chain management: No sustainability benefit or virtuous knock-on opportunities?. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. S1, p. S21-S24, 2017.

HOPKINS, J.; HAWKING, P. Big Data Analytics and IoT in logistics: a case study. **The International Journal of Logistics Management**, v. 29, n. 2, p. 575-591, 2018.

HUANG, G.; CHEN, M.; PAN, J. Robotics in ecommerce logistics. **Transactions Hong Kong Institution Engineers**, p. 1-10, 2015.

HUGHES, A.; PARK, A.; KIETZMANN, J.; ARCHER-BROWN, C. Beyond Bitcoin: What blockchain and distributed ledger technologies mean for firms. **Business Horizons**, v. 62, n. 3, p. 273-281, 2019.

ISASI, N. K. G.; FRAZZON, E. M.; URIONA, M. Big data and business analytics in the supply chain: a review of the literature. **IEEE Latin America Transactions**, v. 13, n. 10, p. 3382-3391, 2015.

ITTMANN, H. W. The impact of big data and business analytics on supply chain management. **Journal of Transport and Supply Chain Management**, v. 9, n. 1, p. 1-9, 2015.

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

IVANOV, D.; DAS, A.; CHOI, T. M. New flexibility drivers for manufacturing, supply chain and service operations. **International Journal of Production Research**, v.59, n.10, p. 3359–3368, 2018.

IVANOV, D.; SOKOLOV, B. The inter-disciplinary modelling of supply chains in the context of collaborative multi-structural cyber-physical networks. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 23(8), p. 976-997, 2012.

JACQUES, A. The Digital Supply Chain: Seizing Pharma's Untapped Opportunity. **Pharmaceutical Technology**, v. 2017 Supplement, n. 1, p. 20-23, 2017.

JAZDI, N. Cyber physical systems in the context of Industry 4.0. **2014 IEEE international conference on automation, quality and testing, robotics**. IEEE, p. 1-4, 2014.

JESKE, M.; GRÜNER, M.; WEIß, F. BIG DATA IN LOGISTICS: A DHL perspective on how to move beyond the hype. **DHL Customer Solutions & Innovation**, v. 12, 2013.

JHA, M.; JHA, S.; O'BRIEN, L. Combining big data analytics with business process using reengineering. 2016 IEEE Tenth International Conference on Research Challenges in Information Science (RCIS). **IEEE**, p. 1-6, 2016.

KACHE, F.; SEURING, S. Challenges and opportunities of digital information at the intersection of Big Data Analytics and supply chain management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 37, n. 1, p. 10-36, 2017.

KAGERMANN, H.; WAJLSTER, W.; HELBIG, J. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRY 4.0. **National Academy of Science and Engineering**, Alemanha, 2013.

KAGERMANN, H.; LUKAS, W.; WAHLSTER, W. Abschotten ist keine Alternative. **VDI Nachrichten**, Issue 16, 2015.

KAHN, K. B.; MENTZER, J. T. Logistics and interdepartmental integration. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 26, n. 8, p. 6-14, 1996.

KAMBLE, S., GUNASEKARAN, A., ARHA, H. Understanding the Blockchain technology adoption in supply chains-Indian context. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 7, p. 2009-2033, 2019a.

KAMBLE, S., GUNASEKARAN, A., PAREKH, H., JOSHI, S. Modeling the internet of things adoption barriers in food retail supply chains. **Journal of Retailing and Consumer Services**, v. 48, p. 154-168, 2019b.

KAPOOR, G.; ZHOU, W.; PIRAMUTHU, S. Multi-tag and multi-owner RFID ownership transfer in supply chains. **Decision Support Systems**, v. 52, n. 1, p. 258-270, 2011.

KENNY, S. Strengthening the network security supply chain. **Computer Fraud & Security**, v. 2017, n. 12, p. 11-14, 2017.

KHANNA, A. "RAS: A novel approach for dynamic resource allocation." **2015 1st International Conference on Next Generation Computing Technologies (NGCT)**. IEEE, 2015.

KHANNA, P.; SHARMA, A. Integrating SCM with internet of things: implication on HR management. **Proceedings of the Second International Conference on Internet of things and Cloud Computing**. ACM, 2017.

- KERBACHE, L.; SMITH, J. M. Queueing networks and the topological design of supply chain systems. **International Journal of Production Economics**, v. 91, n. 3, p. 251-272, 2004.
- KIM, H. M.; LASKOWSKI, M. Toward an ontology driven blockchain design for supply chain provenance. **Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management**, v.25, n. 1, p. 18-27, 2018.
- KLÖTZER, C.; PFLAUM, A. Cyber-Physical Systems as the technical foundation for problem solutions in manufacturing, logistics and Supply Chain Management. **2015 5th International Conference on the Internet of Things (IOT)**. IEEE, p. 12-19, 2015.
- KOCIAN, J.; TUTSCH, M.; OZANA, S.; KOZIOREK, J. Application of modeling and simulation techniques for technology units in industrial control. **Frontiers in Computer Education**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 491-499, 2012.
- KONG, X.T.R.; FANG, J.; LUO, H.; HUANG, G.Q. Cloud-enabled real-time platform for adaptative planning and control in auction logistics center. **Computers & Industrial Engineering**, v.84, p. 79 – 90, 2015.
- KORHONEN, K.; PEKKANEN, P.; PIRTTILÄ, T. Role game as a method to increase cross-functional understanding in a supply chain. **International Journal of Production Economics**, v. 108, n. 1-2, p. 127-134, 2007.
- KRAEMER, D. Omni-Channel Logistics A DHL perspective on implications. **DHL Trend Research**, Alemanha, 2015.
- KSHETRI, N. Blockchain's roles in strengthening cybersecurity and protecting privacy. **Telecommunications Policy**, v. 41, n. 10, p. 1027-1038, 2017a.
- KSHETRI, N. Can blockchain strengthen the internet of things?. **IT Professional**, v. 19, n. 4, p. 68-72, 2017b.
- KSHETRI, N. 1 Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. **International Journal of Information Management**, v. 39, p. 80-89, 2018.
- KUMAR, K. S.; RAO, G. H.; SAHOO, S.; MAHAPATRA, K. K. Secure split test techniques to prevent IC piracy for IoT devices. **Integration, the VLSI Journal**, v. 58, p. 390-400, 2017.
- KUMAR, A.; NIU, F.; RÉ, C. Hazy: making it easier to build and maintain big-data analytics. **Communications of the ACM**, v. 56, n. 3, p. 40-49, 2013.
- KYNAST, M.; MARJANOVIC, O. Big Data in Supply Chain Management–Applications, Challenges and Benefits. **Twenty-second Americas Conference on Information Systems**, San Diego, 2016.

- LAMBA, K., SINGH, S. P. Big data in operations and supply chain management: current trends and future perspectives. **Production Planning & Control**, v. 28, n. 11-12, p. 877-890, 2017.
- LAMBERT, D. M.; COOPER, M. C.; PAGH, J. D. "Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities". **The International Journal of Logistics Management**, v. 9, n. 2, p. 1-19, 1998.
- LASI, H.; FETTKE, P.; KEMPER, H.G.; FELD, T.; HOFFMANN, M. Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, vol.6, p.239, 2014.
- LAZAROVA-MOLNAR, S.; MOHAMED, N.; AL-JAROODI, J. Collaborative Data Analytics for Industry 4.0: Challenges, Opportunities and Models. 2018 Sixth International Conference on Enterprise Systems (ES). **IEEE**, p. 100-107, 2018.
- LEE, J.; KWON, T. Secure dissemination of software updates for intelligent mobility in future wireless networks. **EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking**, v. 2016, n. 1, 2016.
- LEE, J.; LAPIRA, E.; BAGHERI, B.; KAO, H. Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment. **Manufacturing Letters**, v. 1, n. 1, p. 38-41, 2013.
- LEE, I.; LEE, K. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. **Business Horizons**, v. 58, n. 4, p. 431-440, 2015.
- LEE, S.; LIM, G. G. The impact of partnership attributes on EDI implementation success. **Information & Management**, v. 41, n. 2, p. 135-148, 2003.
- LEVELING, J.; EDELBROCK, M.; OTTO, B. Big data analytics for supply chain management. 2014 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. **IEEE**, p. 918-922, 2014.
- LEVY, Y.; ELLIS, T. J. A systems approach to conduct an effective literature review in support of information systems research. **Informing Science**, v.9, 181-212, 2006.
- LI, L.; CHI, T.; HAO, T.; YU, T. Customer demand analysis of the electronic commerce supply chain using Big Data. **Annals of Operations Research**, v. 268, n.1-2, p. 113-128, 2018.
- LI, Y.; JIA, G.; CHENG, Y.; HU, Y. Additive manufacturing technology in spare parts supply chain: a comparative study. **International Journal of Production Research**, v. 55, n.5, p. 1498-1515, 2017.
- LIANG, F.; PAN, Y. On the Analysis and the Design of IOT-Based Supply Chain Warehousing Management System. **Applied Mechanics and Materials**. Trans Tech Publications, p. 4543-4547, 2014.

- LIU, P.; HUANG, S. H.; MOKASDAR, A.; ZHOU, H.; HOU, L. The impact of additive manufacturing in the aircraft spare parts supply chain: supply chain operation reference (scor) model based analysis. **Production Planning & Control**, v. 25, n. 13-14, p. 1169-1181, 2014.
- LÓPEZ, T. S.; RANASINGHE, D. C.; PATKAI, B.; MCFARLANE, D. Taxonomy, technology and applications of smart objects. **Information Systems Frontiers**, v. 13, n. 2, p. 281-300, 2011.
- LÓPEZ, T. S., RANASINGHE, D.; HARRISON, M.; MCFARLANE, D. Adding sense to the internet of things—an architecture framework for smart object systems. **Pers Ubiquitous Comput**, v. 16, n. 3, p. 291-308, 2012.
- LU, T.; GUO, X.; XU, B.; ZHAO, L.; PENG, Y.; YANG, H. Next big thing in big data: the security of the ICT supply chain. **2013 International Conference on Social Computing (SocialCom)**, p. 1066-1073, 2013.
- LUMMUS, R. R.; KRUMWIEDE, D. W.; VOKURKA, R. J. The relationship of logistics to supply chain management: developing a common industry definition. **Industrial management & data systems**, v. 101, n. 8, p. 426-432, 2001.
- LUSZCZ, J. How maverick developers can create risk in the software and IoT supply chain. **Network Security**, p. 5-7, 2017.
- MA, L.; NIE, F.; LU, Q. An analysis of supply chain restructuring based on Big Data and mobile Internet—A case study of warehouse-type supermarkets. 2015 IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services (GSIS). **IEEE**, p. 446-451, 2015.
- MACAULAY, J.; BUCKALEW, L.; CHUNG, G. Internet of things in logistics. **DHL**, Alemanha, 2015.
- MACHADO, H.; SHAH, K. **Internet of Things (IoT) impacts on Supply Chain**. Online, 2016. Disponível em: [http://apicsterragrande.org/images/articles/Machado\\_\\_Internet\\_of\\_Things\\_impacts\\_on\\_](http://apicsterragrande.org/images/articles/Machado__Internet_of_Things_impacts_on_). Acessado em: 07/05/2017.
- MAHROOF, K. A human-centric perspective exploring the readiness towards smart warehousing: The case of a large retail distribution warehouse. **International Journal of Information Management**, v. 45, p. 176-190, 2019.
- MAKHDOOM, I.; ABOLHASAN, M.; LIPMAN, J.; LIU, R. P.; NI, W. Anatomy of Threats to The Internet of Things. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, 2018.
- MAMUN, M. S. I.; GHORBANI, A. A.; MIYAJI, A.; NGUYEN, U. T. SupAUTH: A new approach to supply chain authentication for the IoT. **Computational Intelligence**, v. 34, n. 2, p. 582-602, 2018.

MARTINELLI, E. M.; CHRISTOPHER, M. 3D printing: enabling customer-centricity in the supply chain. **International Journal of Value Chain Management**, v. 10, n. 2, p. 87-106, 2019.

MASHHADI, A. R.; ESMAEILIAN, B.; BEHDAD, S. Impact of additive manufacturing adoption on future of supply chains. ASME 2015 International Manufacturing Science and Engineering Conference. **American Society of Mechanical Engineers**, p. V001T02A064-V001T02A064, 2015.

MCDONALD, J.; T.; KIM, Y. C.; ANDEL, T. R.; FORBES, M. A.; MCVICAR, J. Functional polymorphism for intellectual property protection. **2016 IEEE International Symposium on Hardware Oriented Security and Trust (HOST)**, p. 61-66, 2016.

MENON, S.; SHAH, S.; COUTROUBIS, A. An Overview of Smart Manufacturing for Competitive and Digital Global Supply Chains. 2018 IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions (ICTMOD). **IEEE**, p. 178-183, 2018.

MERLINO, M.; SPROÇE, I. The Augmented Supply Chain. **Procedia Engineering**, v.178, p.308-318, 2017.

MIAO, X.; ZHANG, D. The opportunity and challenge of Big Data's application in distribution grids. **2014 China International Conference on Electricity Distribution (CICED)**. IEEE, p. 962-964, 2014.

MIKAVICAA, B.; KOSTIĆ-LJUBISAVLJEVIĆA, A.; RADONJIĆ, V. Big data: challenges and opportunities in logistics systems. **2nd Logistics Intl. Conference**, 2015.

MIKLOSEY, B. **The Basics of MES**. Disponível em: <https://www.assemblymag.com/articles/94797-the-basics-of-mes>. Acesso em: 8 de junho de 2019.

MOHR, S.; KHAN, O. 3D printing and its disruptive impacts on supply chains of the future. **Technology Innovation Management Review**, v. 5, n. 11, p. 20, 2015.

MONIEM, S. A.; TAHA, S.; HAMZA, H. S. An anonymous mutual authentication scheme for healthcare RFID systems. **2017 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computed, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation**, IEEE, p. 1-6, 2017.

MORETTO, A.; RONCHI, S.; PATRUCCO, A. S. Increasing the effectiveness of procurement decisions: The value of big data in the procurement process. **International Journal of RF Technologies**, v. 8, n. 3, p. 79-103, 2017.

MOSTAFA, N.; HAMDY, W.; ALAWADY, H. Impacts of Internet of Things on supply chains: A framework for warehousing. **Social Sciences**, v. 8, n. 3, p. 84, 2019.

MOYNE, J.; MASHIRO, S.; GROSS, D. Determining a security roadmap for the microelectronics industry. **2018 29th Annual SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference (ASMC)**, IEEE, p. 291-294, 2018.

MYLREA, M.; GOURISETTI, S. N. G. Blockchain for Supply Chain Cybersecurity, Optimization and Compliance. **2018 Resilience Week (RWS)**, IEEE, p. 70-76, 2018.

NAKANO, M.; AKIKAWA, T.; SHIMAZU, M. Process integration mechanisms in internal supply chains: case studies from a dynamic resource-based view. **International Journal of Logistics Research and Applications**, v. 16, n. 4, p. 328-347, 2013.

NEW, S. J. The scope of supply chain management research. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 2, n. 1, p. 15-22, 1997.

NYMAN, H. J.; SARLIN, P. From bits to atoms: 3D printing in the context of supply chain strategies. 2014 47th Hawaii International Conference on System Sciences. **IEEE**, p. 4190-4199, 2014.

OMITOLA, T.; WILLS, G. Towards Mapping the Security Challenges of the Internet of Things (IoT) Supply Chain. **Procedia Computer Science**, v. 126, p. 441-450, 2018.

ONG, B. Y.; WEN, R.; ZHANG, A. N. Data blending in manufacturing and supply chains. **2016 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)**. IEEE, p. 3773-3778, 2016.

PAGELL, M. Understanding the factors that enable and inhibit the integration of operations, purchasing and logistics. **Journal of Operations Management**, v. 22 n. 5, p. 459, 2004.

PAGELL, M.; WU, Z. Enhancing integration of supply chain functions within a firm: exploring the critical factors through eleven cases. **International Journal of Integrated Supply Management**, v. 2, n. 4, p. 295-315, 2006.

PAYNE, A.; FROW, P. A strategic framework for customer relationship management. **Journal of marketing**, v. 69, n. 4, p. 167-176, 2005.

PEARSALL, K. Manufacturing supply chain challenges-globalization and IOT. **Electronic System-Integration Technology Conference (ESTC)**, 2016 6th. IEEE, p. 1-5, 2016.

PEARSALL, K.; STEELE, B. J.; ZULPA, P. PEARSALL, K.; STEELE, B. J.; ZULPA, P. A smarter supply chain-end to end Quality Management. **2011 18th**

**European Microelectronics and Packaging Conference (EMPC)**. IEEE, p.1-5, 2011.

PEARSON, M.; GJENDEM, F. H.; KALTENBACH, P.; SCHATTEMAN, O.; HANIFAN, G. Big Data Analytics in Supply Chain: Hype or Here to Stay. **Accenture**, Munich, Germany, 2014.

PFOHL, H.C.; YAHSI, B.; KURNAZ; T. The Impact of Industry 4.0 on the Supply Chain. **Proceedings of the Hamburg**. International Conference of Logistics (HICL), 2015.

PIRPILIDIS, F.; VOYIATZIS, A. G.; PYRGAS, L.; KITSOS, P. An Efficient Reconfigurable Ring Oscillator for Hardware Trojan Detection. **Proceedings of the 20th Pan-Hellenic Conference on Informatics**. ACM, p. 66, 2016.

PISHDAR, M.; GHASEMZADEH, F.; ANTUCHEVICIENE, J.; SAPARAUSKAS, J. Internet of things and its challenges in supply chain management; a rough strength-relation analysis method. **Economics and Management**, 2018.

PRODANOV, C. C.; DE FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2ª Edição, Editora Feevale, 2013.

QUEIROZ, M. M.; TELLES, R. Big data analytics in supply chain and logistics: an empirical approach. **The International Journal of Logistics Management**, (accepted), 2018.

QURESHI, K. A., MOHAMMED, W. M., FERRER, B. R., LASTRA, J. L. M., AGOSTINHO, C. Legacy systems interactions with the supply chain through the C2NET cloud-based platform. **2017 IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)**. IEEE, p. 725-731, 2017.

QIAN, Y.; ZENG, P.; SHEN, Z.; CHOO, K. K. R. A Lightweight Path Authentication Protocol for RFID-Based Supply Chains. **2018 17th IEEE International Conference On Trust, Security And Privacy In Computing And Communications/12th IEEE International Conference On Big Data Science And Engineering (TrustCom/BigDataSE)**. IEEE, p. 1297-1302, 2018.

RAAB, M.; GRIFFIN-CRYAN, B. Digital transformation of supply chains. Creating Value—When Digital Meets Physical, **Capgemini Consulting**, 2011.

RAJ, S.; SHARMA, A. Supply chain management in the cloud. **Accenture Global Management Consulting**, p. 1-12, 2014.

RAMAA, A.; SUBRAMANYA, K. N.; RANGASWAMY, T. M. Impact of warehouse management system in a supply chain. **International Journal of Computer Applications**, v. 54, n. 1, 2012.

RAMANATHAN, R.; PHILPOTT, E.; DUAN, Y.; CAO, G. Adoption of business analytics and impact on performance: a qualitative study in retail. **Production Planning & Control**, v. 28, n. 11-12, p. 985-998, 2017.

RASCHINGER, M.; KIPOURIDIS, O.; GUNTNER, W. A. A service-oriented cloud application for a collaborative tool management system. 2016 International Conference on Industrial Engineering, Management Science and Application (ICIMSA). **IEEE**, p. 1-5, 2016.

RATHORE, G.; VERMA, M.; SUKSI, J.; RAJAGOPALAN, J. Modern Logistics: Case Study on Jindal Steel Works' CRM2 Total Automatic YMS and ASRS. **International Conference on the Science and Technology of Ironmaking**. Cleveland: AISTECH, p. 4053-4069, 2015.

RAY, S.; BHADRA, J. Security challenges in mobile and IoT systems. **2016 29th IEEE International System-on-Chip Conference (SOCC)**, IEEE, p. 356-361, 2016.

RAY, S.; CHEN, W.; CAMMAROTA, R. Protecting the supply chain for automotives and IoTs. **2018 55th ACM/ESDA/IEEE Design Automation Conference (DAC)**. IEEE, p. 1-4, 2018.

RAY, B. R.; ABAWAJY, J.; CHOWDHURY, M.; ALELAIWI, A. Universal and secure object ownership transfer protocol for the Internet of Things. **Future Generation Computer Systems**, v. 78, p. 838-849, 2018.

RAY, B.; HOWDHURY, M.; ABAWAJY, J.; JESMIN, M. Secure object tracking protocol for Networked RFID Systems. **2015 16th IEEE/ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD)**, IEEE, p. 1-7, 2015.

RAZA, Muhammad H. et al. The slow adoption of cloud computing and IT workforce. **Procedia Computer Science**, v. 52, p. 1114-1119, 2015.

REDDY, G. R. K.; SINGH, H.; HARIHARAN, S. Supply chain wide transformation of traditional industry to industry 4.0. **ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences**, v.11 n.18, p. 11089-11097, 2016.

RICHEY JR, R. G.; MORGAN, T. R.; LINDSEY-HALL, K.; ADAMS, F. G. A global exploration of big data in the supply chain. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 46, n. 8, p. 710-739, 2016.

RIZNI, M. I.; PORAVI, G. Best of Breed ERP: A Dashboard for Strategic Decision Makers. IEEE 2018 8th International Conference on Intelligent Systems, **Modelling and Simulation (ISMS)**, p. 58-61, 2018.

RODRIGUEZ, J. I.; BLANCO, M.; GONZALEZ, K. Proposal of a Supply Chain Architecture Immersed in the Industry 4.0. **International Conference on Information Theoretic Security**. Springer, Cham, p. 677-687, 2018.

RÖSCHINGER, Marcus; KIPOURIDIS, Orthodoxos; GUNTNER, Willibald A. A service-oriented cloud application for a collaborative tool management system. 2016 International Conference on Industrial Engineering, Management Science and Application (ICIMSA). **IEEE**, p. 1-5, 2016.

ROßMANN, B.; CANZANIELLO, A.; VON DER GRACHT, H.; HARTMANN, E. The future and social impact of Big Data Analytics in Supply Chain Management: Results from a Delphi study. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 130, p. 135-149, 2018.

RUSSO, I.; CONFENTE, I.; BORGHESI, A. Using big data in the supply chain context: opportunities and challenges. In European Conference on Knowledge Management. **Academic Conferences International Limited**, p. 649, 2015.

RUßMANN, M.; LORENZ, M.; GERBERT, P.; WALDNER, M.; JUSTUS, J.; ENGEL, P.; HARNISCH, M. Industry 4.0 - The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. **The Boston Consulting Group**, 2015. Disponível em:  
<[http://www.bcg.com.cn/export/sites/default/en/files/publications/reports\\_pdf/BCG\\_Industry\\_40\\_Future\\_of\\_Productivity\\_April\\_2015\\_ENG.pdf](http://www.bcg.com.cn/export/sites/default/en/files/publications/reports_pdf/BCG_Industry_40_Future_of_Productivity_April_2015_ENG.pdf)>. Acesso em 13 de maio de 2017.

SABATTINI, L.; DIGANI, V.; SECCHI, C.; COTENA, G.; RONZONI, D.; FOPPOLI, M. Technological roadmap to boost the introduction of AGVs in industrial applications. **Conference Intelligent Computer Communication and Processing**. Cluj-Napoca: IEEE. 2013.

SANDERS, N. R. How to use big data to drive your supply chain. **California Management Review**, v. 58, n. 3, p. 26-48, 2016.

SAVASTANO, M.; AMENDOLA, C.; FABRIZIO, D.; MASSARONI, E. 3-D printing in the spare parts supply chain: an explorative study in the automotive industry. In Digitally supported innovation. **Springer**, Cham, p. 153-170, 2016.

SCHMIDT, B.; RUTKOWSKY, S.; PETERSEN, I.; KLÖTZKE, F.; WALLENBURG, C. M.; EINMAHL, L. Digital supply chains: increasingly critical for competitive edge. **European AT Kearney, WHU Logistics Study**, 2015.

SCHNEIDER, G.; KEIL, S.; LUHN, G. Opportunities, challenges and use cases of digitization within the semiconductor industry. **2018 29th Annual SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference (ASMC)**, IEEE, p. 307-312, 2018.

SCHRAUF, S.; BERTTRAM, P. Industry 4.0: How digitization makes the supply chain more efficient, agile, and customer-focused. **PwC**, Alemanha, 2016

SCHUH, G.; ANDERL, R.; GAUSEMEIER, J.; TEN HOMPEL, M.; WAHLSTER, W. Industrie 4.0 Maturity Index. **Managing the Digital Transformation of Companies (ACATECH study)** Herbert Utz Verlag, Alemanha, 2017.

SHAH, J. **Supply chain management: text and cases**. Pearson Education India, 2009.

SHAH, S.; MATTIUZZA, S.; GANJI, E. N.; COUTROUBIS, A. Contribution of additive manufacturing systems to supply chain. In 2017 International Conference on Industrial Engineering, Management Science and Application (ICIMSA). **IEEE**, p. 1-5, 2017.

SHAH, S., VERVERI, A. Evaluation of Internet of Things (IoT) and its Impacts on Global Supply Chains. **2018 IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions (ICTMOD)**. IEEE, p. 160-165, 2018.

SHAPIRO, J. **Modeling the supply chain**. Nelson Education, 2006.

SHIAU, J.; LEE, M. A warehouse management system with sequential picking for multi-container. **Computers & Industrial Engineering**, p.382-392, 2010.

SILVA E. L., MENEZES E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

SINGH, A.; JAIN, D.; MEHTA, I.; MITRA, J.; AGRAWAL, S. Application of Big Data in Supply Chain Management. **Materials Today: Proceedings**, v.4, n.2, p.1106-1115, 2017.

SONG, M. L.; FISHER, R.; WANG, J. L.; CUI, L. B. Environmental performance evaluation with big data: Theories and methods. **Annals of Operations Research**, v. 270, n. 1-2, p. 459-472, 2018.

SOUZA, G. C. Supply chain analytics. **Business Horizons**, v.57, n.5, p.595-605, 2014.

SPANAKI, K.; GÜRGÜÇ, Z.; ADAMS, R.; MULLIGAN, C. Data supply chain (DSC): research synthesis and future directions. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 13, p. 4447-4466, 2018.

SRINIVASAN, S. P., SHANTHI, D. S., & ANAND, A. V. Inventory transparency for agricultural produce through IOT. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. **IOP Publishing**, v. 211, n. 1, p. 012009, 2017.

STADTLER, H; KILGER, C.; MEYR, H. **Supply chain management and advanced planning: concepts, models, software, and case studies**. Springer, 2015.

STANK, T. P.; KELLER, S. B.; DAUGHERTY, P. J. Supply chain collaboration and logistical service performance. **Journal of Business logistics**, v. 22, n. 1, p. 29-48, 2001.

STOLTZ, M. H.; GIANNIKAS, V.; MCFARLANE, D.; STRACHAN, J.; UM, J.; SRINIVASAN, R. Augmented reality in warehouse operations: opportunities and barriers. **IFAC-PapersOnLine**, v. 50, n. 1, p. 12979-12984, 2017.

SUROSU, J. S.; BUDHIJANA, R. B.; DELFIANI, R. I. The Effect Of Successful Enterprise Resource Planning (ERP) Systems On Employee Performance. **IEEE 2018 International Conference on Orange Technologies (ICOT)**, p. 1-6, 2018.

SWINK, M.; MELNYK, S. A.; HARTLEY, J.; COOPER, M. **Managing operations across the supply chain**. New York, NY: McGraw-Hill Education, 2017.

SZOZDA, N. Industry 4.0 and its impact on the functioning of supply chains. **LogForum**, v. 13, 2017.

THULUVA, A. S.; ANICIC, D.; RUDOLPH, S. Semantic Web of Things for Industry 4.0. **RuleML+ RR (Supplement)**. 2017.

TIJAN, E.; AKSENTIJEVIĆ, S.; IVANIĆ, K.; JARDAS, M. Blockchain Technology Implementation in Logistics. **Sustainability**, v. 11, n. 4, p. 1185, 2019.

TJAHJONO, B. ESPLUGUES, C.; ARES, E.; PELAEZ, G. What does Industry 4.0 mean to Supply Chain?. **Procedia Manufacturing**, v. 13, p. 1175-1182, 2017.

TOWILL, D. R.; CHILDERHOUSE, P.; DISNEY, S. M. Speeding up the progress curve towards effective supply chain management. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 5, n. 3, p. 122-130, 2000.

TRSTENJAK, M.; COSIC, P. Process planning in Industry 4.0 environment. **Procedia Manufacturing**, v. 11, p.1744-1750, 2017.

TSOLAKIS, N.; BECHTSIS, D.; SRAI, J. S. Intelligent autonomous vehicles in digital supply chains: from conceptualization, to simulation modelling, to real-world operations. **Business Process Management Journal**, v. 25, n. 3, p. 414-437, 2019.

TU, M. An exploratory study of Internet of Things (IoT) adoption intention in logistics and supply chain management: A mixed research approach. **The International Journal of Logistics Management**, v. 29, n. 1, p. 131-151, 2018.

TU, M.; K. LIM, M.; YANG, M.-F. IoT-based production logistics and supply chain system—Part 2: IoT-based cyber-physical system: a framework and evaluation. **Industrial Management & Data Systems**, v. 118, n. 1, p. 96-125, 2018.

TUPTUK, N.; HAILES, S. Security of smart manufacturing systems. **Journal of manufacturing systems**, v. 47, p. 93-106, 2018.

TURKULAINEN, V.; ROH, J.; WHIPPLE, J. M.; SWINK, M. Managing Internal Supply Chain Integration: Integration Mechanisms and Requirements. **Journal of Business Logistics**, v. 38, n. 4, p. 290-309, 2017.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá**. Itajubá: UNIFEI, 2012.

TZIANTOPOULOS, K.; TSOLAKIS, N.; VLACHOS, D.; TSIRONIS, L. Supply chain reconfiguration opportunities arising from additive manufacturing technologies in the digital era. **Production Planning & Control**, v. 30, n. 7, p. 510-521, 2019.

UDDIN, S.; AL SHARIF, A. A. Integrating internet of things with maintenance spare parts' supply chain. In 2016 5th International Conference on Electronic Devices, Systems and Applications (ICEDSA). **IEEE**, p. 1-4, 2016.

URQUHART, L.; MCAULEY, D. Avoiding the internet of insecure industrial things. **Computer Law & Security Review**, v. 34, n. 3, p. 450-466, 2018.

VDE ASSOCIATION FOR ELECTRICAL, ELECTRONIC & INFORMATION TECHNOLOGIES. **The German Standardization Roadmap: Industrie 4.0**. DKE German Commission for Electrical, Electronic & Information Technologies of DIN and VDE, 2014.

XU, R.; YANG, L.; YANG, S. H. Architecture Design of Internet of Things in Logistics Management for Emergency Response. **2013 IEEE International Conference on Green Computing and Communications and IEEE Internet of Things and IEEE Cyber, Physical and Social Computing**, IEEE, p. 395-402, 2013.

WANG, G.; GUNASEKARAN, A.; NGAI, E. W.; PAPADOPOULOS, T. Big data analytics in logistics and supply chain management: Certain investigations for research and applications. **International Journal of Production Economics**, v. 176, p. 98-110, 2016.

WANG, Y.; HULSTIJN, J.; TAN, Y. H. Data quality assurance in international supply chains: an application of the value cycle approach to customs reporting. **International Journal of Advanced Logistics**, v. 5, n. 2, p. 76-85, 2016.

WANG, Y., SINGGIH, M., WANG, J., RIT, M. Making sense of blockchain technology: How will it transform supply chains?. **International Journal of Production Economics**, v. 211, 221-236, 2019.

WANG, Z.; HU, H.; ZHOU, W. RFID enabled knowledge based precast construction supply chain. **Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering**, v. 32, n. 6, p. 499-514, 2017.

WAZID, M.; DAS, A. K.; ODELU, V.; KUMAR, N.; CONTI, M.; JO, M. Design of Secure User Authenticated Key Management Protocol for Generic IoT Networks. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 5, n. 1, p. 269-282, 2018.

WEBER, R. H. Internet of Things–New security and privacy challenges. **Computer Law & Security Review**, v. 26, n. 1, p. 23-30, 2010.

WILDING, R.; WHEATLEY, M. Q&A. How Can I Secure My Digital Supply Chain? **Technology Innovation Management Review**, 2015. Disponível em: <http://timreview.ca/article/890>. Acesso em: 07 maio 2018.

WITZEL, O.; WILM, S.; KARIMANZIRA, D.; BAGANZ, D. Controlling and regulation of integrated aquaponic production systems–An approach for a management execution system (MES). **Information Processing in Agriculture**, 2019.

WOLFERT, S.; GE, L.; VERDOUW, C.; BOGAARDT, M. J. Big data in smart farming–a review. **Agricultural Systems**, v. 153, p. 69-80, 2017.

WONG, C. W. Y.; LAI, K.; CHENG, T. C. E. Value of Information Integration to Supply Chain Management: Roles of Internal and External Contingencies. **Journal of Management Information Systems**, v.28 n.3, p. 161-200 ,2012.

WU, L.; YUE, X.; JIN, A.; YEN, D. C. Smart supply chain management: a review and implications for future research. **The International Journal of Logistics Management**, v. 27, n. 2, p. 395-417, 2016.

XIE, H.; LI, W.; Li, X.; Li.; X. The proceeding on the research on human exoskeleton. **International Conference Logistics, Engineering, Management and Computer Science**. Shenyang, p. 752-756, 2014.

XU, R.; YANG, L.; YANG, S. H. Architecture design of internet of things in logistics management for emergency response. 2013 IEEE International Conference on Green Computing and Communications and IEEE Internet of Things and IEEE Cyber, Physical and Social Computing. **IEEE**, p. 395-402, 2013.

YAN, B.; YAN, C.; KE, C.; TAN, X. Information sharing in supply chain of agricultural products based on the Internet of Things. **Industrial Management & Data Systems**, v.116, n. 7, p. 1397-1416, 2016.

YANG, K.; FORTE, D.; TEHRANIPOOR, M. M. Protecting endpoint devices in IoT supply chain. **Proceedings of the IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design**. IEEE Press, p. 351-356, 2015.

YANG, K.; FORTE, D.; TEHRANIPOOR, M. M. CDTA: A comprehensive solution for counterfeit detection, traceability, and authentication in the IoT supply chain. **ACM Transactions on Design Automation of Electronic Systems (TODAES)**, v. 22, n. 3, p. 42, 2017.

YANG, K.; FORTE, D.; TEHRANIPOOR, M. ReSC: An RFID-Enabled Solution for Defending IoT Supply Chain. **ACM Transactions on Design Automation of Electronic Systems (TODAES)**, v. 23, n. 3, p. 29, 2018.

YIN, S.; KAYNAK, O. Big data for modern industry: challenges and trends [point of view]. **Proceedings of the IEEE**, v. 103, n. 2, p. 143-146, 2015.

YOO, Y.; LYYTINEN, K. J.; BOLAND, R.; BERENTE, N.; GASKIN, J.; SCHUTZ, D.; SRINIVASAN, N. **The Next Wave of Digital Innovation: Opportunities and Challenges: A Report on the Research Workshop'Digital Challenges in Innovation Research'**. 2010.

YU, Y.; WANG, L. Research on Information Sharing in Supply Chain. In 2016 International Conference on Education, E-learning and Management Technology. **Atlantis Press**, 2016.

ZHANG, F. Z.; HE, H. X.; XIAO, W. J. Application analysis of Internet of Things on the management of supply chain and intelligent logistics. In Applied Mechanics and Materials. **Trans Tech Publications**, v. 411, p. 2655-2661, 2013.

ZHANG, Y.; ZHU, Z.; LV, J. CPS-based smart control model for shopfloor material handling. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 14, n. 4, p. 1764-1775, 2018.

ZHAO, X.; HUO, B.; SELEN, W.; YEUNG, J. H. Y. The impact of internal integration and relationship commitment on external integration. **Journal of operations management**, v. 29, n. 1-2, p. 17-32, 2011.

ZHONG, R. Y.; NEWMAN, S. T.; HUANG, G. Q.; LAN, Shulin. Big Data for supply chain management in the service and manufacturing sectors: Challenges, opportunities, and future perspectives. **Computers & Industrial Engineering**, v. 101, p. 572-591, 2016.

ZHOU, M.; CAO, M.; PARK, T.; PYEON, J. H. Clarifying Big Data: The Concept and Its Applications. In Proceedings of the 2015 International Conference on Big Data Applications and Services. **ACM**, p. 10-13, 2015.

ZHU, J. e ZHOU, H. Realization of key technology for intelligent exoskeleton load system. **Advances in Information Technology and Industry Applications**, p. 77-82, 2012.

## **APÊNDICE**

QUESTIONÁRIO: IDENTIFICAÇÃO DOS BENEFÍCIOS E DESAFIOS  
PERCEBIDOS PELAS EMPRESAS AO IMPLANTAR AS TECNOLOGIAS  
ASSOCIADAS À INDÚSTRIA 4.0 NA SUPPLY CHAIN

## **PERCEPÇÃO DOS BENEFÍCIOS E DESAFIOS DAS TECNOLOGIAS ASSOCIADAS À INDÚSTRIA 4.0 NA SUPPLY CHAIN**

### **CARTA DE APRESENTAÇÃO:**

O Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP) desenvolve estudos nas áreas de Gestão e Estratégias e Engenharia do Produto e do Processo. Essa pesquisa, em especial, enquadra-se na área de Gestão e Estratégias; mais especificamente na linha de pesquisa Supply Chain, com um projeto de Dissertação de Mestrado que objetiva avaliar os reais impactos das tecnologias da Indústria 4.0 no desempenho da empresa junto aos seus respectivos clientes e fornecedores.

A Indústria 4.0, também denominada de quarta revolução industrial, é resultado da forte integração de tecnologias de informação e comunicação para conectar o mundo físico ao mundo virtual. Seu conceito se deu início na Alemanha e abrange tecnologias como Internet das Coisas (IoT – Internet of Things), Big Data, Sistemas Físico-Cibernéticos (Cyber-Physical Systems – CPS) e Computação em nuvem, bem como demais ferramentas e sistemas da indústria tradicional.

O tema é novo e vêm ganhando cada vez mais atenção tanto por parte da indústria quanto da academia. Observa-se, no entanto, que ainda não estão totalmente claros e identificados os reais impactos das tecnologias associadas à Indústria 4.0 na Supply Chain, sejam eles positivos ou negativos.

O objetivo deste questionário é identificar as percepções dos benefícios e desafios das empresas quanto ao uso dessas tecnologias na Supply Chain. O questionário é de fácil preenchimento e a total transparência nas respostas é de fundamental importância para se atingir o objetivo proposto.

Os dados serão utilizados apenas no âmbito acadêmico, sendo garantido o SIGILO ABSOLUTO do nome da empresa e de seu respondente. Agradecemos desde já sua atenção e valiosa colaboração.

Atenciosamente,  
Felipe de Campos Martins  
Prof. Dr. Alexandre Tadeu Simon

## PERCEÇÃO DOS BENEFÍCIOS E DESAFIOS DAS TECNOLOGIAS ASSOCIADAS À INDÚSTRIA 4.0 NA SUPPLY CHAIN

### APRESENTAÇÃO DAS TECNOLOGIAS:

#### - Planejamento dos recursos da empresa (ERP)

O ERP é um software que melhora a gestão das empresas ao automatizar seus processos e integrar suas 4:66 evitando perda de informação, eliminando retrabalhos e reduzindo custos.

#### - Roteirização

Essa tecnologia auxilia no planejamento e otimização eficiente de rotas para transporte, considerando custos, disponibilidade do cliente, tempo de atendimento, capacidade dos veículos e jornada do motorista.

#### - Sistema de gerenciamento de armazém (WMS)

O WMS é uma ferramenta para o gerenciamento de estoque, espaço, equipamentos e pessoas. O uso desse tipo de sistema permite o aumento da produtividade e a diminuição nos custos de todos os processos de centros de distribuição, desde o recebimento de produtos até sua expedição.

#### - Sistema de execução de manufatura (MES)

Tem como característica monitorar e controlar todas as etapas do processo de produção em tempo real, confrontando o que foi planejado e o que realmente está sendo executado.

#### - Sistema automático de armazenagem e coleta

É um sistema de gerenciamento e armazenagem de materiais, que opera integrado a outros equipamentos utilizados na logística interna, podendo assegurar alta eficiência e acuracidade para os processos logísticos.

#### - Identificação por radiofrequência (RFID)

Essa tecnologia permite a identificação automática de objetos por meio de sinais de rádio, auxiliando no monitoramento dos produtos em cada processo, bem como no controle do inventário e na identificação de ações inseguras (como o estoque de materiais em locais incorretos).

#### - Intercâmbio eletrônico de dados (EDI)

É um sistema eletrônico de troca de informações online entre empresas. Seu objetivo é substituir registros em papel para o formato eletrônico e, assim, oferecer vantagens às empresas como redução de custos, maior agilidade no processamento, diminuição de erros e também o aperfeiçoamento das relações com clientes e fornecedores.

#### - Robôs industriais

Tecnologia ligada ao ramo da engenharia que envolve a concepção, design, fabricação e operação de robôs dentro do ambiente industrial.

## PERCEÇÃO DOS BENEFÍCIOS E DESAFIOS DAS TECNOLOGIAS ASSOCIADAS À INDÚSTRIA 4.0 NA SUPPLY CHAIN

### APRESENTAÇÃO DAS TECNOLOGIAS:

- **Gestão de relacionamento com Cliente (CRM)**  
Essa tecnologia, alinhada a um conjunto de prática e estratégias de negócio, permite às empresas acompanhar todas as interações com clientes atuais e futuros, antecipar suas necessidades e desejos, otimizar a rentabilidade e aumentar as vendas e a assertividade de suas campanhas de captação de novos clientes.
- **Veículos guiados automaticamente (AGV's)**  
Os AVG's são veículos que se movem ao longo de rotas virtuais e pré-estabelecidas, auxiliando na logística interna da fábrica.
- **Veículos inteligentes/ autônomos**  
Veículo de transporte, de passageiros ou bens, dotado de um sistema de controle computacional que integra um conjunto de sensores e atuadores com a função de navegar de forma autônoma e segura sobre a superfície terrestre.
- **Exoesqueleto**  
O exoesqueleto é um conceito de equipamento “vestível” que matem o funcionário no controle principal, e possibilita à máquina executar toda a força necessária na operação sem fadigá-lo.
- **Realidade aumentada**  
Definido como uma extensão da realidade física, essa tecnologia permite a visualização de informações geradas por computador no ambiente real. Informações nesse contexto incluem objetos virtuais, textos, gráficos, vídeos, sons, feedback táteis, dados de sistemas de posicionamento global (GPS) e até cheiros.
- **Simulação e modelamento**  
Técnicas de simulação e modelagem que visam à simplificação e o favorecimento econômico do projeto, realização, testes e execução de uma operação em sistemas de manufatura, permitindo a otimização dos processos.
- **Computação em nuvem**  
A computação em nuvem tem como objetivo integrar tecnologias ou arquiteturas de modo a oferecer uma plataforma ou solução por meio da Internet, permitindo seu acesso a qualquer momento e em qualquer lugar.
- **Internet das coisas**  
Conceito que visa estender e conectar objetos físicos à Internet por meio da integração de sensores, atuadores e outros dispositivos que coletam, transmitem e processam dados, integrando aplicações de negócios, de Web (como mídias sociais) e máquinas, dispositivos, produtos, materiais e pessoas, e tornando possível a criação de uma rede inteligente que se estendem por todos os processos da fábrica e de clientes e fornecedores.

## PERCEÇÃO DOS BENEFÍCIOS E DESAFIOS DAS TECNOLOGIAS ASSOCIADAS À INDÚSTRIA 4.0 NA SUPPLY CHAIN

### APRESENTAÇÃO DAS TECNOLOGIAS:

#### - **Sistemas físico-cibernéticos**

Sistemas que compreendem máquinas e instalações de armazenamento e produção que foram desenvolvidos digitalmente e apresentam integração de ponta a ponta baseada em tecnologias de informação e comunicação.

#### - **Big Data**

Definida como um grande conjunto de dados provenientes de diversas fontes, tanto tradicionais quanto digitais, em que análises e descobertas contínuas podem ser feitas. Exemplos de aplicações na Supply Chain compreendem os fluxos de matérias (como status da produção, monitoramento de processos e qualidade, manuseio de estoque, logística, pesquisa e desenvolvimento e soluções coletivas nas funções de aquisição e distribuição), fluxos de informação (como previsão de demanda, gerenciamento de eventos da Supply Chain, negociações com fornecedores, gerenciamento de riscos, identificação de problemas, suporte a decisões automatizadas e gerenciamento de clientes) e fluxos financeiros (como segmentação de clientes, modelagem de demanda, desenho de novo modelo de negócio, precificação e sortimento e aspectos financeiros de recursos humanos)

#### - **Manufatura aditiva**

Também conhecido como Impressão 3D, refere-se aos processos utilizados para sintetizar um objeto tridimensional por meio da fusão de finas camadas de pó adicionadas umas sobre as outras.

#### - **Blockchain**

Tecnologia de registro distribuído, capaz de otimizar a eficiência de sistemas bem como a segurança e escalabilidade. Visa a descentralização como medida de segurança. Funciona como um livro-razão, só que de forma pública, compartilhada e universal, que cria consenso e confiança na comunicação direta entre duas partes, ou seja, sem o intermédio de terceiros.

#### - **Omni Channel**

Abordagem multicanal que permite integrar atividades físicas e digitais, fornecendo uma experiência de continuidade independente do meio utilizado. Por exemplo, no departamento de vendas, essa tecnologia permite fornecer uma experiência de compra contínua, seja ao adquirir on-line a partir de um desktop ou dispositivo móvel, por telefone, ou fisicamente. A ideia é fazer com que o cliente possa estar ligado à empresa tanto presencialmente quanto virtualmente; ou seja, por meio de todos os canais ofertados.

**PERCEÇÃO DOS BENEFÍCIOS E DESAFIOS DAS TECNOLOGIAS ASSOCIADAS À  
INDÚSTRIA 4.0 NA SUPPLY CHAIN**

**SEÇÃO 1:**

**Identificação e caracterização da empresa:**

As informações contidas nessa seção objetivam caracterizar a empresa pesquisada.

1.1 Nome da empresa:			
1.2 Segmento de atuação da empresa:			
1.3 Tempo de atuação da empresa (em anos):			
1.4 Nome do respondente (opcional):			
	1.5 Cargo do respondente:		
	1.6 Porte da empresa	(   ) Micro	(   ) Pequena
		(   ) Média	(   ) Grande
	1.7 Tempo de atuação na empresa do respondente (em anos):		



