



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS BLUMENAU
CENTRO TECNOLÓGICO, DE CIÊNCIAS EXATAS E EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA TÊXTIL

Walakis Vieira Bataglini

DESENVOLVIMENTO DE UM INSTRUMENTO PARA DIAGNÓSTICO DE
MATURIDADE DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NO SETOR TÊXTIL E DE
CONFECÇÃO

Blumenau

2021

Walakis Vieira Bataglini

DESENVOLVIMENTO DE UM INSTRUMENTO PARA DIAGNÓSTICO DA
MATURIDADE DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NO SETOR TÊXTIL E DE
CONFECÇÃO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Têxtil da Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do título de Mestre.
Orientador: Prof. Dr. Antônio Augusto Ulson de Souza
Coorientadoras: Profa. Dra. Fernanda Steffens e Profa.
Dra. Ana Julia Dal Forno

Blumenau

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Bataglini, Walakis

DESENVOLVIMENTO DE UM INSTRUMENTO PARA DIAGNÓSTICO DA
MATURIDADE DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NO SETOR TÊXTIL
E DE CONFECÇÃO / Walakis Bataglini ; orientador, Antônio
Augusto Ulson de Souza, coorientadora, Fernanda
Steffens, coorientadora, Ana Julia Dal Forno, 2021.

119 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Campus Blumenau, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Têxtil, Blumenau, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia Têxtil. 2. Indústria 4.0. 3. Confecção .
4. Têxtil . 5. Tecnologias emergentes. I. Ulson de Souza,
Antônio Augusto . II. Steffens, Fernanda . III. Dal Forno,
Ana Julia IV. Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil. V. Título.

Walakis Vieira Bataglini

Desenvolvimento de um instrumento para diagnóstico de maturidade das tecnologias
da indústria 4.0 no setor têxtil e de confecção

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca
examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Leonardo Mejia Rincon
Universidade Federal de Santa Catarina – Blumenau

Prof. Dr. Diego de Castro Fettermann
Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis

Prof. Dr. José Ivan de Medeiros
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Engenharia Têxtil no Programa de Pós Graduação em Engenharia Têxtil.

Profª. Dra. Rita de Cassia Siqueira Curto Valle
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil

Prof. Dr. Antônio Augusto Ulson de Souza
Orientador

Blumenau/SC, 2021

Este trabalho é dedicado a minha amada noiva Fernanda e aos meus queridos pais Alencar e Marli e irmãs Thaygla e Lohana.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Antônio Augusto Ulson de Souza, a Profa. Dra. Fernanda Steffens e a Profa. Dra. Ana Julia Dal Forno pela dedicação, paciência, atenção e comprometimento na orientação deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil da Universidade Federal de Santa – Campus Blumenau, pelo apoio e o fornecimento de toda assistência e estrutura necessária durante o período do Mestrado.

À organização do ramo têxtil que propiciou este estudo de caso, pela abertura em prol do desenvolvimento científico.

RESUMO

A Indústria 4.0 pode ser definida como um conjunto de avanços tecnológicos que, integrados ao processo produtivo, confere agilidade à linha de produção, aumento da eficiência dos processos, redução de custos e personalização em massa, melhorias estas fundamentais para organizações que visam sobreviver e prosperar no cenário atual e futuro. No modelo proposto pela Indústria 4.0, as tecnologias emergentes que compõem o conceito atuam de maneira integrada, permitindo que haja a comunicação instantânea entre os diferentes elos da cadeia produtiva. Desta forma, o processo se torna “inteligente”, autônomo e capaz de produzir bens de acordo com as preferências de seus diferentes consumidores, sem causar prejuízo à produtividade, oportunizando assim, novos modelos de negócio. A implementação da Indústria 4.0 no setor têxtil é um desafio, pois em muitos casos a mudança é radical, tanto nas instalações fabris quanto na qualificação e formação de recursos humanos. Este trabalho teve como principal objetivo o desenvolvimento de um instrumento para diagnóstico da maturidade das tecnologias da Indústria 4.0 no setor têxtil e de confecção, sua construção teve como base a revisão da literatura específica apoiada por um *software* de mapeamento bibliométrico – SciMAT. O instrumento de diagnóstico desenvolvido foi submetido a uma avaliação técnica feita por especialistas no assunto, e na sequência foi aplicado experimentalmente em uma empresa de manufatura têxtil de grande porte, localizada no Norte Catarinense. Diante do que foi exposto na revisão teórica deste trabalho, a indústria têxtil se encontra em um estágio incipiente de implementação da Indústria 4.0, concentrando-se inicialmente na adoção de tecnologias voltadas a aumentar a eficiência do processo de produção, redução de custos operacionais e melhoria na gestão dos negócios. Na pesquisa exploratória realizada verificou-se que, uma vez consolidado este estágio inicial, as empresas têxteis estarão aptas a avançar para o próximo estágio que é a implementação de tecnologias da Indústria 4.0 em seus produtos e em toda sua cadeia de valor, tornando-os cooperativos, flexíveis e “inteligentes”. Constatou-se que ainda são pontuais as aplicações de tecnologias que propõem a “personalização em massa” na indústria têxtil, mesmo considerando os países mais desenvolvidos. O instrumento desenvolvido neste trabalho para o diagnóstico da maturidade das tecnologias da Indústria 4.0 no setor têxtil e de confecção obteve êxito em seu teste piloto, sendo destacados pelos respondentes os seguintes pontos positivos: praticidade, clareza, amplitude e coerência no diagnóstico apresentado. A intenção do autor é que o instrumento elaborado, possa ser replicado por empresas de diferentes portes e produtos dentro do setor têxtil, permitindo a estas, avaliar seu status atual sobre as tecnologias componentes, a estratégia de implementação, as habilidades necessárias, os benefícios propostos, o nível maturidade e o grau de implementação da Indústria 4.0. É pretendido também que, pesquisadores acadêmicos através da aplicação da ferramenta em um campo amostral maior, possam fazer análises comparativas e inferências importantes para produção de artigos científicos ou desenvolvimento de projetos de trabalho que abordem a implementação do conceito de Indústria 4.0 dentro da área têxtil e de confecção.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Confecção. Têxtil. Tecnologias emergentes.

ABSTRACT

Industry 4.0 can be defined as a set of technological advances that, integrated into the production process, provide agility to the production line, increase process efficiency, cost reduction and mass customization, fundamental improvements for organizations that aim to survive and prosper in the current and future scenario. In the model proposed by Industry 4.0, the emerging technologies that make up the concept act in an integrated manner, allowing instant communication between the different links in the production chain. In this way, the process becomes “intelligent”, autonomous and capable of producing goods according to the preferences of its different consumers, without harming productivity, thus creating opportunities for new business models. The implementation of Industry 4.0 in the textile sector is a challenge, as in many cases the change is radical, both in the manufacturing facilities and in the qualification and training of human resources. This work had as main objective the development of an instrument to diagnose the maturity of Industry 4.0 technologies in the textile and apparel sector, its construction was based on a review of the specific literature supported by a bibliometric mapping software – SciMAT. The diagnostic instrument developed was submitted to a technical evaluation carried out by specialists in the subject, and then it was applied experimentally in a large textile manufacturing company, located in the North of Santa Catarina. Given what was exposed in the theoretical review of this work, the textile industry is at an incipient stage of implementation of Industry 4.0, initially focusing on the adoption of technologies aimed at increasing the efficiency of the production process, reducing operating costs and improving in business management. In the exploratory research carried out, it was found that, once this initial stage is consolidated, textile companies will be able to advance to the next stage, which is the implementation of Industry 4.0 technologies in their products and throughout their value chain, making them cooperative, flexible and “smart”. It was found that the applications of technologies that propose “mass customization” in the textile industry are still punctual, even considering the most developed countries.

The instrument developed in this work for the diagnosis of the maturity of Industry 4.0 technologies in the textile and apparel sector was successful in its pilot test, with the following positive points being highlighted by the respondents: practicality, clarity, breadth and consistency in the diagnosis presented.

The author's intention is that the elaborated instrument can be replicated by companies of different sizes and products within the textile sector, allowing them to assess their current status on component technologies, implementation strategy, necessary skills, proposed benefits, the maturity level and the degree of implementation of Industry 4.0.

It is also intended that academic researchers, through the application of the tool in a larger sample field, can make comparative analyzes and important inferences for the production of scientific articles or development of work projects that address the implementation of the Industry 4.0 concept within the textile area and of confection.

Keywords: Industry 4.0. Confection. Textile. Emerging technologies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Revoluções industriais.	19
Figura 2 - Etapas da pesquisa.	24
Figura 3 - Etapas de pré-tratamento dos dados.	25
Figura 4 - Documentos publicados no período.	26
Figura 5 - Mapa de sobreposições de palavras-chave.	26
Figura 6 - Mapa de evolução das áreas temáticas.	27
Figura 7 - Diagrama estratégico do período entre 2018-2019 (P3).	28
Figura 8 - Redes temáticas associadas (P3).	30
Figura 9 - Seleção dos documentos para leitura usando o SciMAT.	31
Figura 10 - Passos executados para revisão bibliográfica.	32
Figura 11 - Etapas do processo da MA.	48
Figura 12 - Aplicação de AR através de um sistema de visão por vídeo baseado em monitor.	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Técnicas e mecanismos de cibersegurança.....	65
Quadro 2 - Nível de maturidade da Indústria 4.0.	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dimensão: Tecnologias.....	90
Tabela 2 – Dimensões: Estratégia, Habilidades e Benefícios.....	94
Tabela 3 – Estágio referencial de implementação da Indústria 4.0	95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
ACATECH	<i>Deutsche Akademie der Technikwissenschaften</i> (Academia Alemã de Ciências da Engenharia)
BDaaS	<i>Big Data</i> como Serviço
BI	<i>Business Intelligence</i> (Inteligência Empresarial)
CAD	<i>Computer Aided Design</i> (Desenho Assistido por Computador)
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i> (Manufatura Assistida por Computador)
CNI	Confederação Nacional das Indústrias
CPS	<i>Cyber-Physical System</i> (Sistemas Ciberfísicos de Produção)
CRM	<i>Customer Relationship Management</i> (Gestão de Relacionamento com Clientes)
DMU	<i>Digital Mockup</i> (Maquete Digital)
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i> (Planejamento de Recursos Empresariais)
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i> (Modelagem por Deposição Fundida)
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamento Global)
GTI 4.0	Grupo de Trabalho para Indústria 4.0
IaaS	<i>Infrastructure as a Service</i> (Infraestrutura como Serviço)
IDS	<i>Intrusion detection systems</i> (Sistema de Detecção de Intrusos)
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
ITA	Instituto de Tecnologias Têxtil
M2M	<i>Machine-to-Machine</i> (Máquina para Máquina)
AM	<i>Additive Manufacturing</i> (Manufatura Aditiva)
MIDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio Exterior e Serviços
MES	<i>Manufacturing Execution System</i> (Sistema de Execução da Manufatura)
MSP	<i>Managed Services Provider</i> (Serviço de Gestão do Servidor)
NFC	<i>Near Field Communication</i> (Comunicação por Aproximação)
PaaS	<i>Platform as a Service</i> (Plataforma como Serviço)
PCP	Planejamento e Controle de Produção
PLM	<i>Product Lifecycle Management</i> (Gestão do Ciclo de Vida do Produto)

PPCP	Planejamento, Programação e Controle de Produção
AR	<i>Augmented Reality</i> (Realidade Aumentada)
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i> (Identificação por Radiofrequência)
VR	<i>Virtual Reality</i> (Realidade Virtual)
SaaS	<i>Software as a Service</i> (Software como Serviço)
SCM	<i>Supply Chain Management</i> (Gestão da Cadeia de Suprimentos)
V2V	<i>Vehicle-To-Vehicle</i> (Comunicação Veículo-a-Veículo)
VDMA	<i>Verband Deutscher Maschinen und Anlagenbau</i> (Associação Alemã de Fabricação de Máquinas e instalações Industriais)
VPN	<i>Virtual Private Network</i> (Rede Virtual Privada)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	INDÚSTRIA 4.0: DEFINIÇÃO.....	18
1.2	INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL	20
1.3	A IMPLEMENTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 NA ÁREA TÊXTIL	21
2	OBJETIVO GERAL	22
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
3	METODOLOGIA	23
3.1	ETAPAS DA PESQUISA.....	23
3.2	REVISÃO DA LITERATURA E ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA.....	24
3.2.1	Documentos publicados por período	25
3.2.2	Relatório de sobreposição das palavras-chave	26
4	TECNOLOGIAS COMPONENTES DA INDÚSTRIA 4.0: DEFINIÇÕES, APLICAÇÕES NA ÁREA TÊXTIL, VANTAGENS E DESAFIOS	33
4.1	INTERNET DAS COISAS (IOT).....	33
4.1.1	A IoT na área têxtil	35
4.1.2	Vantagens.....	35
4.1.3	Desafios.....	36
4.2	COMPUTAÇÃO EM NUVEM	36
4.2.1	Computação em nuvem na área têxtil.....	38
4.2.2	Vantagens.....	39
4.2.3	Desafios.....	39
4.3	<i>BIG DATA</i>	Erro! Indicador não definido.
4.3.1	<i>Big Data</i> na área têxtil.....	41
4.3.2	Vantagens.....	42
4.3.3	Desafios.....	43

4.4	ROBÓTICA INDUSTRIAL	43
4.4.1	Robótica Industrial na área têxtil.....	45
4.4.2	Vantagens.....	46
4.4.3	Desafios.....	46
4.5	MANUFATURA ADITIVA.....	47
4.5.1	Manufatura Aditiva na área têxtil.....	49
4.5.2	Vantagens.....	50
4.5.3	Desafios.....	51
4.6	REALIDADE AUMENTADA	51
4.6.1	Realidade Aumentada na área têxtil	53
4.6.2	Vantagens.....	54
4.6.3	Desafios.....	55
4.7	SIMULAÇÃO (PROTOTIPAGEM VIRTUAL).....	55
4.7.1	Simulação na área têxtil e de confecção	57
4.7.2	Vantagens.....	58
4.7.3	Desafios.....	59
4.8	INTEGRAÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL de SISTEMAS.....	59
4.8.1	Integração de sistemas na área têxtil.....	60
4.8.2	Vantagens.....	63
4.8.3	Desafios.....	63
4.9	CIBERSEGURANÇA.....	64
4.9.1	Vantagens.....	65
4.9.2	Desafios.....	66
4.10	A ADOÇÃO DAS TECNOLOGIAS EMERGENTES DA INDÚSTRIA 4.0 NA ÁREA TÊXTIL.....	66
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	68
5.1	DIMENSÕES DO QUESTIONÁRIO	68

5.2	NÍVEIS AVALIATIVOS DE MATURIDADE E ESTÁGIO REFERENCIAL DE IMPLEMENTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0.....	69
5.3	QUESTÕES DO QUESTIONÁRIO.....	72
5.3.1	Dimensão 1 – Demografia.....	73
5.3.2	Dimensão 2 – Tecnologias.....	74
5.3.3	Dimensão 3 – Estratégia	81
5.3.4	Dimensão 4 – Habilidades Digitais	83
5.3.5	Dimensão 5 – Benefícios Da Implementação Do Conceito De Indústria 4.0...84	
5.4	MÉTODOLOGIA DE APLICAÇÃO DO INSTRUMENTO DE DIAGNÓSTICO	87
5.5	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO INSTRUMENTO PARA DIAGNÓSTICO DA MATURIDADE DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NO SETOR TÊXTIL E DE CONFECÇÃO	89
5.5.1	Radar global das tecnologias da Indústria 4.0.....	90
5.5.2	Dimensões: Estratégia, Habilidades e Benefícios e Estágio referencial de implementação da Indústria 4.0	93
6	CONCLUSÃO	100
	REFERÊNCIAS.....	102
	ANEXO I – QUESTIONÁRIO PARA DIAGNÓSTICO DE MATURIDADE DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NO SETOR TÊXTIL E DE CONFECÇÃO	110

1 INTRODUÇÃO

O tema “Indústria 4.0” tem sido objeto de um número crescente de pesquisas. Uma busca recente na base de dados *Scopus* verificou que no ano de 2020 foram publicados 3.393 documentos, nos quais os termos “*Industry 4.0*” ou “*Industrie 4.0*” aparecem no título dos trabalhos. Este número expressivo pode ser explicado uma vez que o conceito propõe resultados que representam as principais metas perseguidas nas indústrias, tais como, aumentos em produtividade e eficiência, flexibilidade das linhas de produção, redução de custos e eficiência no uso de recursos (KAGERMANN, *et al.*, 2013; CNI, 2018).

O conceito Indústria 4.0 tornou-se oficialmente conhecido em abril de 2011, quando o governo alemão realizou uma conferência chamada “*Hannover Trade Fair*”, reunindo representantes industriais, políticos e acadêmicos para discutir um plano estratégico de fortalecimento da indústria nacional (BLANCHET, 2014; KAGERMANN, 2016).

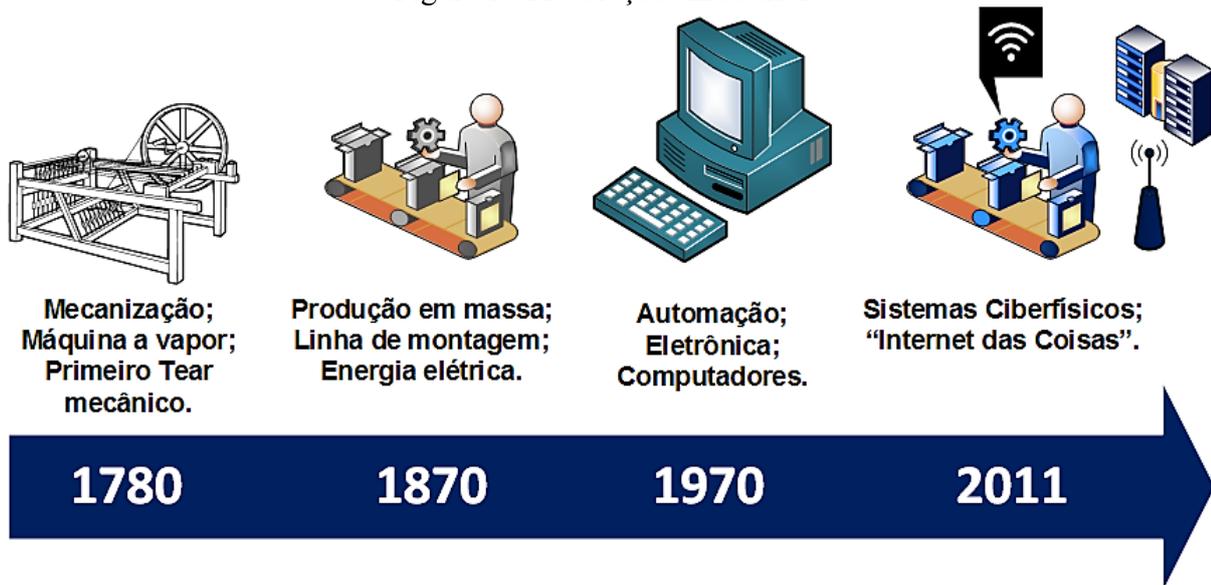
A iniciativa foi chamada de “*Industrie 4.0*”, sendo caracterizada pela implementação de inovações tecnológicas no ambiente fabril. Desde então, o desenvolvimento da Indústria 4.0 passou a ser tratado na Alemanha como prioridade (KAGERMANN *et al.*, 2013). Nos anos seguintes, o que se verificou foi uma difusão rápida do conceito em outros países, como Estados Unidos, França, Inglaterra, China e Coreia do Sul (GAUSEMEIER, 2016).

1.1 INDÚSTRIA 4.0: DEFINIÇÃO

A Indústria 4.0 trata-se de uma evolução advinda das revoluções industriais anteriores, sendo estas iniciadas com surgimento das máquinas a vapor, que desencadearam o desenvolvimento do primeiro tear mecânico criado por Edmund Cartwring, passando pela utilização da energia elétrica e o desenvolvimento das linhas de montagem, seguindo para utilização da informática nos processos industriais, e culminando na introdução do conceito Internet das Coisas e Sistemas Ciberfísicos (CPS) ao ambiente da manufatura (KAGERMANN *et al.*, 2013; BLANCHET *et al.*, 2014; GAUSEMEIER, 2016).

A integração e controle da produção a partir de sensores e equipamentos conectados em rede são características das Indústrias 4.0, resultando na fusão do mundo real com o virtual, onde os dispositivos são capazes de trocar informações de maneira autônoma, desencadeando ações e controles de forma independente (KAGERMANN, 2016; CNI, 2016a; CNI, 2016b). A Figura 1 ilustra a evolução a partir das revoluções industriais que ocorreram anteriormente.

Figura 1 - Revoluções industriais.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

No cenário proposto pela Indústria 4.0, as tecnologias emergentes que compõem o conceito atuam de maneira integrada, permitindo a comunicação instantânea dos diferentes elos da cadeia produtiva, tornando o processo "inteligente", autônomo e capaz de produzir bens de acordo com as preferências de seus diferentes consumidores, sem causar prejuízo à produtividade, agregando valor ao atender de maneira personalizada e oportunizando novos modelos de negócio (KAGERMANN *et al.*, 2013; BLANCHET *et al.*, 2014).

Portanto, a Indústria 4.0 pode ser definida como um conjunto de avanços tecnológicos que, integrados ao processo produtivo, conferem agilidade à linha de produção, maior eficiência dos processos, redução de custos e personalização em massa, melhorias fundamentais para organizações que visam sobreviver e prosperar no cenário atual e futuro.

Os principais benefícios propostos pela Indústria 4.0 são (KAGERMANN *et al.*, 2013):

- Personalização: produção de itens personalizados em escala industrial, sem prejuízos para a produtividade e a margem de lucro;
- Flexibilidade: baseada em sistemas Ciberfísicos de Produção (CPS), onde, uma rede global conecta processos, máquinas e dispositivos de uma indústria, o processo industrial se torna mais flexível, permitindo se adaptar e responder rapidamente as mudanças requeridas;

- Tomadas de decisão otimizadas: na Indústria 4.0, o acesso é integral às informações geradas ao longo de todas as etapas do processo e em tempo real, com base nestas informações as decisões são tomadas de forma rápida e assertiva;
- Produtividade e eficiência na utilização dos recursos: a adoção das tecnologias digitais de manufatura, componentes da Indústria 4.0, permite a otimização dos processos de produção por intermédio da automação, padronização e integração tecnológica;
- Novos modelos de negócio: a criação de modelos de negócios baseados na oferta de serviços mediante utilização de plataformas e outras tecnologias digitais são favorecidos neste ambiente tecnológico;
- Equilíbrio entre a vida e o trabalho: o modelo de produção é principalmente fundamentado no uso da tecnologia, permitindo a flexibilização do trabalho, de modo que atenda às necessidades e restrições dos funcionários.

1.2 INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL

No Brasil, o desenvolvimento da Indústria 4.0 está concentrado principalmente em grandes indústrias, localizadas nos principais centros de comércio. Uma projeção do cenário industrial para 2030, prevê que o país tornar-se-á um dos principais consumidores das tecnologias e serviços componentes da Indústria 4.0, porém, ainda será preciso desenvolver internamente as respectivas tecnologias que integram o conceito (GAUSEMEIER, 2016).

Neste contexto, propõe-se uma lista com dimensões prioritárias para o desenvolvimento da Indústria 4.0 no país, (CNI, 2016b):

- a) Aplicações nas cadeias produtivas e desenvolvimento de fornecedores;
- b) Mecanismos para induzir a adoção das novas tecnologias;
- c) Desenvolvimento tecnológico;
- d) Ampliação e melhoria da infraestrutura de banda larga;
- e) Aspectos regulatórios;
- f) Formação de recursos humanos;
- g) Articulação institucional.

Em junho de 2017, o Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio Exterior e serviços (MDIC) criou o Grupo de Trabalho para Indústria 4.0 (GTI 4.0), composto por mais de 50 instituições representativas (governo, empresas e a sociedade).

Entre 2016 e 2018, o percentual de grandes empresas que usavam pelo menos uma das tecnologias digitais componentes da indústria 4.0 cresceu 10% (CNI, 2018). Em 2020, entre as grandes empresas, 58% já aderiram aos conceitos da Indústria 4.0, ainda que, em estágio inicial (CNI, 2020).

Segundo relatório apresentado em 2019 no Fórum Econômico Mundial, realizado em de Gênova na Itália, o Brasil se posiciona na 71ª posição, de um grupo de 141 países, quando o assunto é o potencial de implementação e o nível de desenvolvimento da Indústria 4.0, destacando-se no futuro, como grande mercado consumidor das tecnologias digitais de manufatura (SCHWAB, 2019).

Conseqüentemente, esse aumento dos índices de utilização das tecnologias emergentes de manufatura proporcionará benefícios à indústria e a economia nacional.

Na esfera industrial, estima-se os seguintes ganhos com a implementação da indústria 4.0: redução dos custos de manutenção de equipamentos entre 10% e 40%; redução do consumo de energia entre 10% e 20% e aumento da eficiência produtiva entre 10% e 25% (ALCÂNTARA, 2020).

1.3 A IMPLEMENTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 NA ÁREA TÊXTIL

A evolução da indústria convencional para a chamada Indústria 4.0, segundo a literatura, tem demonstrado grande variação de acordo com o segmento abordado. Enquanto algumas áreas apresentam rápido desenvolvimento na implantação dos conceitos e tecnologias, outras necessitam de mais tempo para instalação e adequação ao novo modelo de indústria. Todavia, a necessidade de manterem-se competitivas no mercado é um objetivo comum a todas as áreas (BLANCHET, 2014).

Os níveis de utilização dos conceitos e tecnologias da Indústria 4.0 no Brasil variam consideravelmente de acordo com a área em questão.

Um exemplo é o setor têxtil, que apresenta um índice de adoção de 29% das tecnologias componentes da Indústria 4.0 em seus processos, revelando-se como uma área carente e propícia ao desenvolvimento de estudos que abordem o tema, algo que fica evidente quando este resultado é comparado com os de outros setores, como o de equipamentos de informática, que detém uma adoção de 61% das tecnologias mencionadas em seus processos de produção (CNI, 2016a; CNI, 2016b).

2 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo geral desenvolver um instrumento para o diagnóstico de maturidade das tecnologias da Indústria 4.0 no setor têxtil e de confecção.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Prospectar na literatura a utilização das tecnologias da Indústria 4.0 na área têxtil e de confecção utilizando um *software* de mapeamento científico (SciMat);
- Identificar quais tecnologias da Indústria 4.0 são mais utilizadas e promissoras para o setor têxtil e de confecção;
- Aplicar o instrumento de diagnóstico em uma empresa de grande porte do setor têxtil e de confecção, avaliar os resultados e a eficácia do instrumento desenvolvido.

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia de pesquisa utilizada para elaboração desta dissertação, bem como as etapas que contemplam seu desenvolvimento.

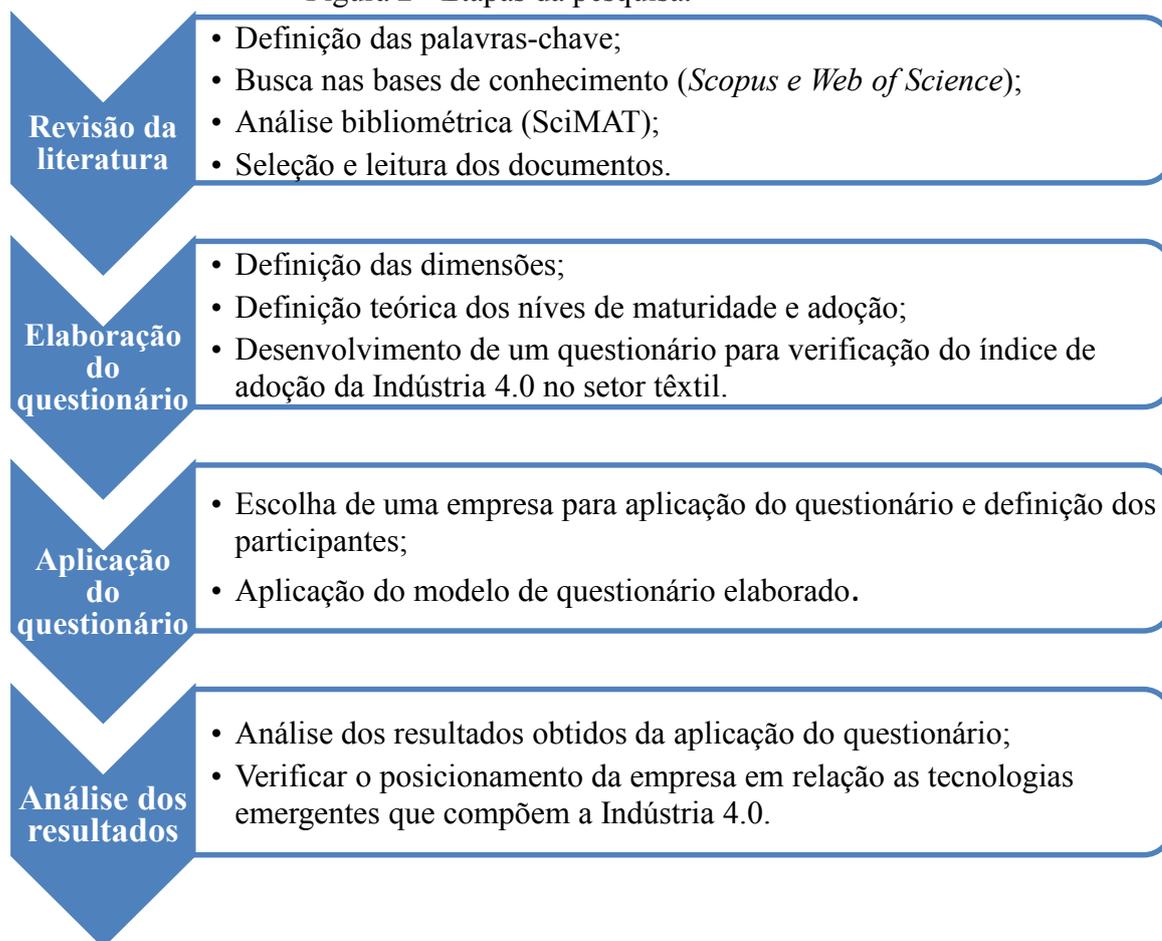
3.1 ETAPAS DA PESQUISA

O presente trabalho foi desenvolvido sequencialmente através de quatro etapas:

- a) Revisão da literatura a partir da utilização do *software* SciMAT;
- b) Elaboração de um questionário voltado para a verificação do índice de maturidade das tecnologias componentes e das dimensões da indústria 4.0 na área têxtil e de confecção;
- c) Teste piloto do questionário elaborado em uma grande empresa do setor têxtil e de confecção;
- d) Análise dos resultados obtidos a partir da aplicação do questionário e verificação do posicionamento da empresa em relação as tecnologias componentes da Indústria 4.0.

A Figura 2 apresenta a sequência das etapas da pesquisa.

Figura 2 - Etapas da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

As etapas da elaboração do questionário, aplicação e análises dos resultados serão detalhadas no capítulo 5.

3.2 REVISÃO DA LITERATURA ESPECÍFICA E ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Para a execução desta etapa do trabalho, realizou-se inicialmente uma pesquisa com as palavras “*Textile*” e “*Industry 4.0*” ou “*Industrie 4.0*” (este último em alemão, uma vez que o termo foi inicialmente concebido neste país). As bases de dados escolhidas foram *Web of Science* e *Scopus*, definidas pela sua abrangência e capacidade de exportarem os dados dos documentos (título, autor, palavras-chave, resumo, ano de publicação e número de vezes que determinado artigo foi citado) para um *software* de mapeamento científico.

O SciMAT (*Science Mapping Analysis Tool*) foi o *software* escolhido para o mapeamento, dada a sua capacidade de classificação, análise e processamento de dados. Outro fator relevante para esta escolha, foi que os relatórios emitidos pelo *software* consideram

medidas bibliométricas de qualidade (*h-index*, número de citações) durante a análise (COBO, 2012).

Os critérios definidos para seleção de documentos nas plataformas supracitadas foram publicações em inglês de janeiro de 2011 até 30 de agosto 2019, que em algum lugar da sua estrutura apresentavam a ocorrência simultânea das palavras “*Textile*” e “*Industry 4.0*” ou “*Textile*” e “*Industrie 4.0*”. A pesquisa nas plataformas resultou em 277 documentos que tiveram seus dados bibliométricos importados pelo SciMAT.

Na sequência, a partir do *software*, iniciou-se uma etapa de pré-tratamento dos dados para posterior processamento e emissão de relatórios. O processo está sintetizado na Figura 3 (COBO, 2012).

Figura 3 - Etapas de pré-tratamento dos dados.



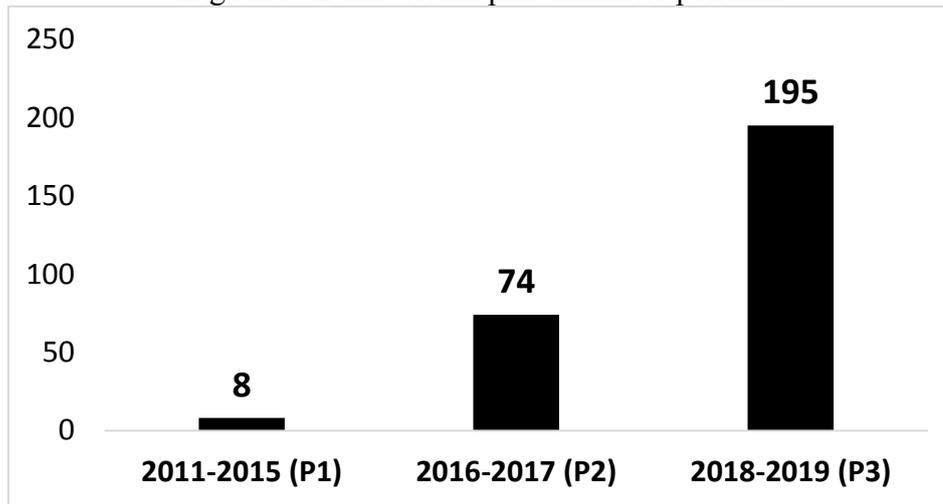
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Após finalizada a etapa de pré-tratamento, realizou-se, por intermédio do *software*, o processamento dos dados bibliométricos. Os relatórios emitidos e respectivas análises são apresentados a seguir.

3.2.1 Documentos publicados por período

A Figura 4 ilustra que no período entre 2011-2015 (P1) foram publicados apenas 8 documentos que continham os termos “*Textile*” e “*Industry 4.0*” ou “*Industrie 4.0*” e que, a partir deste período houve um crescimento substancial no número de publicações, com 74 documentos publicados entre 2016-2017 (P2) e 195 entre 2018-2019 (P3).

Figura 4 - Documentos publicados no período.



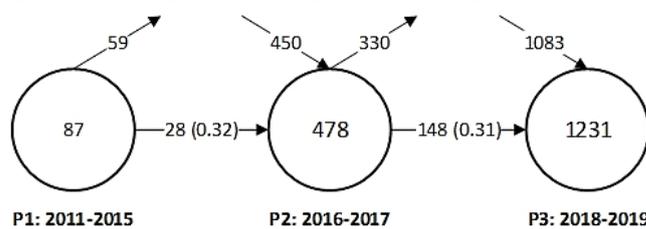
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Analisando a Figura 4, verificou-se que embora o conceito de Indústria 4.0 tenha surgido em 2011, foi só a partir de 2016 que as palavras “*Textile*” e “*Industry 4.0*” ou “*Textile*” e “*Industrie 4.0*” passaram a ser usadas juntas em maior escala nos periódicos científicos. Além disso, verifica-se o potencial desses termos nas publicações, uma vez que as curvas continuam ascendentes.

3.2.2 Relatório de sobreposição das palavras-chave

A Figura 5 demonstra que o índice de continuidade de P1 para P2 foi de 0.32, ou seja, das 87 palavras-chave utilizadas nos documentos publicados em P1, apenas 28 continuam como palavras-chave dos documentos publicados em P2. De P2 para P3 o índice de continuidade foi de 0.31, sendo que, das 478 palavras-chave utilizadas P2, apenas 148, continuam como palavras-chave dos documentos publicados em P3.

Figura 5 - Mapa de sobreposições de palavras-chave.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

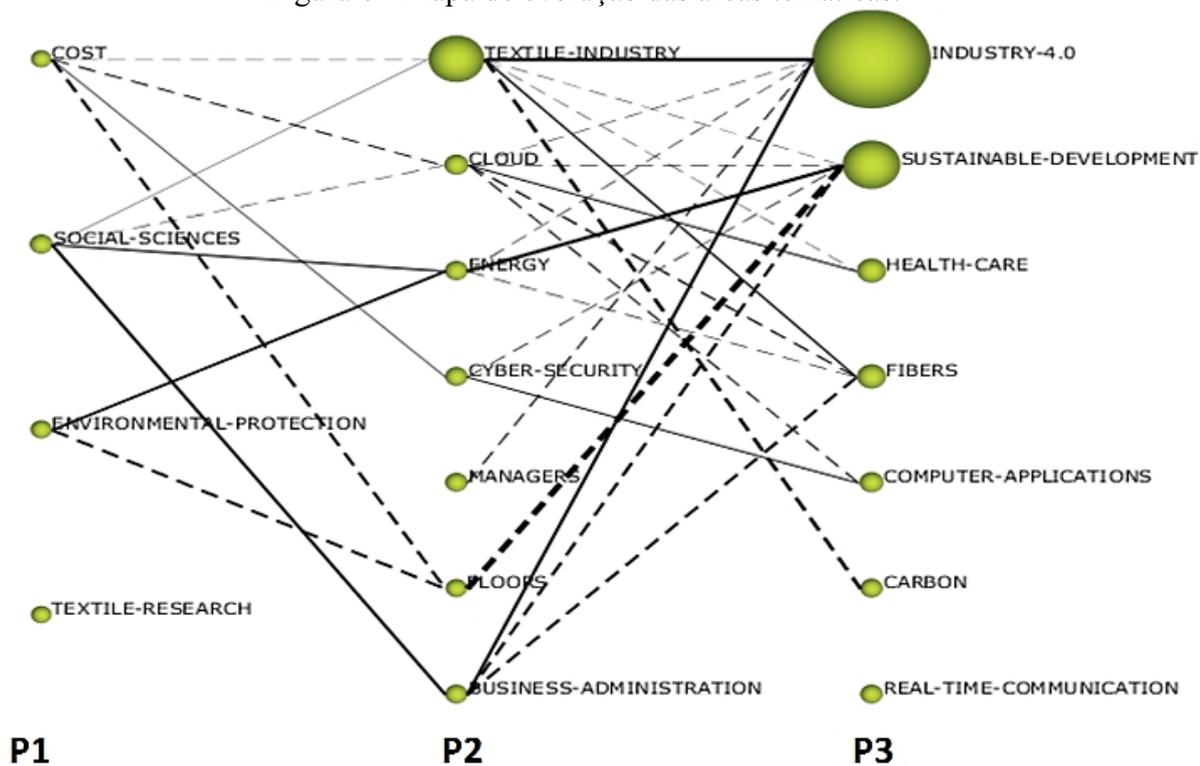
A Figura 5 evidencia ainda que a área de pesquisa composta pelas palavras “*Textile*” e “*Industry 4.0*” ou “*Textile*” e “*Industrie 4.0*” ainda está se desenvolvendo e formulando seus

temas fundamentais, visto o baixo índice de continuidade dos temas pesquisados de um período para outro.

A Figura 6 apresenta a evolução temática ao longo do tempo, em que, por intermédio de esferas, evidencia a representatividade do tema para a área de pesquisa em determinado período, bem como sua evolução e relacionamento com os demais temas.

As linhas que conectam as esferas sinalizam o quanto os temas compartilham entre si um assunto principal, onde, linhas contínuas são um forte compartilhamento de assuntos e linhas pontilhadas fraco, quanto maior a espessura das linhas maior o índice de inclusão de um tema dentro do outro. Analisando a Figura 6, verifica-se um grande interesse de pesquisadores pelo tema Indústria 4.0, e que se potencializou no último período (P3), onde segundo dados apresentados no *software*, encontrou-se 62 periódicos publicados usando os termos “*Industry 4.0*” ou “*Industrie 4.0*” como palavra-chave do documento.

Figura 6 - Mapa de evolução das áreas temáticas.

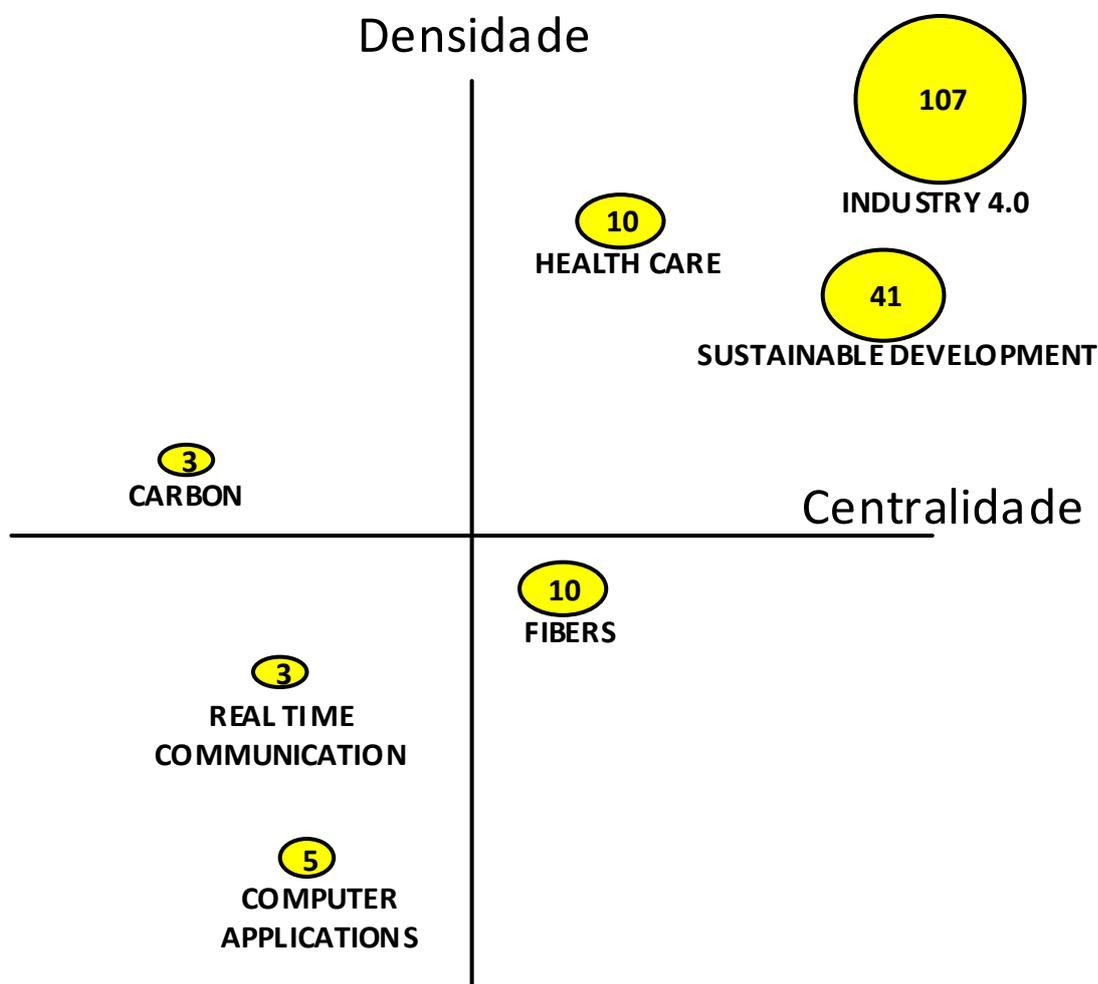


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Observando a evolução temática ao longo dos períodos na Figura 7, percebe-se o início de uma convergência dos temas estudados nos períodos P1 e P2 para duas principais áreas em P3 “*Industry 4.0*” e “*sustainable development*”. Isso sinaliza que área de pesquisa começa a definir estes como seus temas fundamentais.

Ainda, utilizando o *software* SciMAT, a Figura 7 apresenta os principais temas abordados no período P3 (2018-2019) de acordo com a área de pesquisa.

Figura 7 - Diagrama estratégico do período entre 2018-2019 (P3).



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

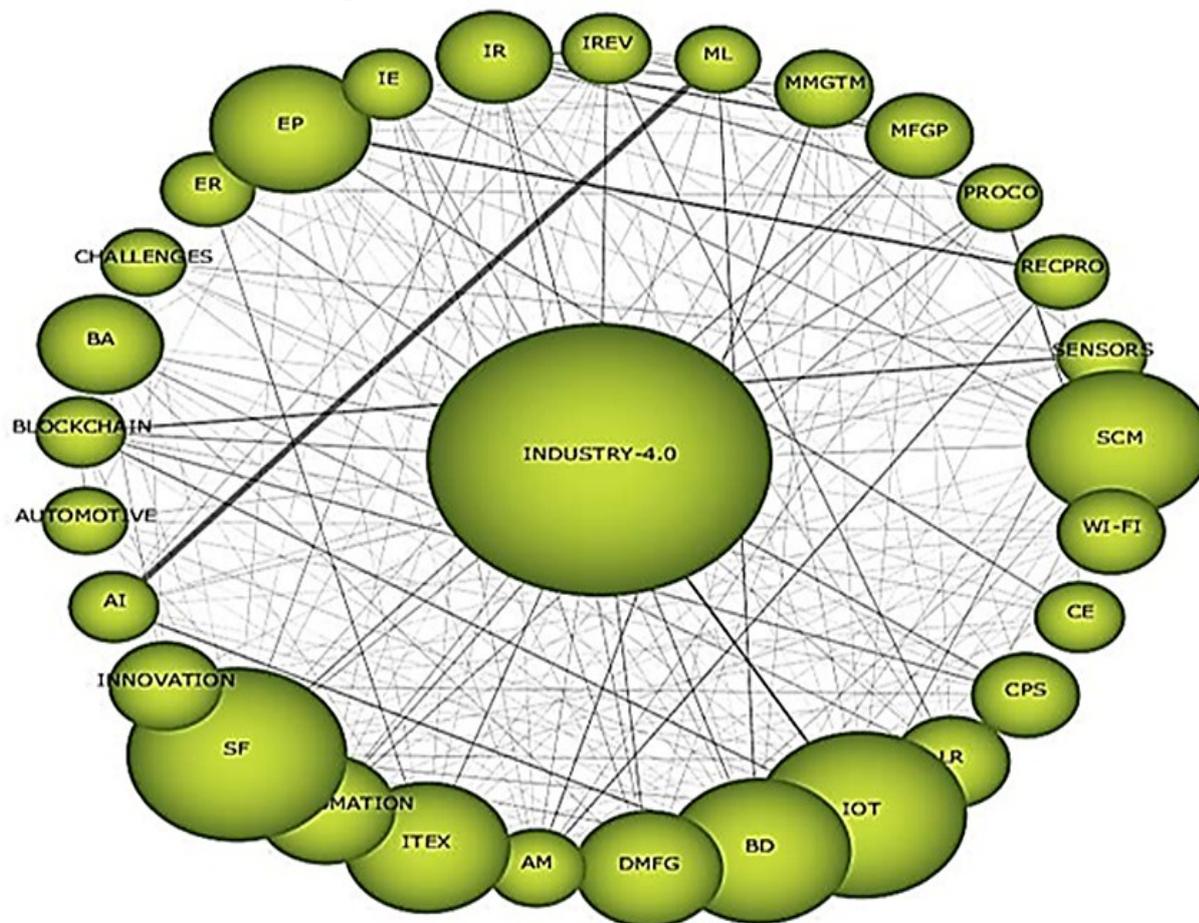
Na Figura 7, observa-se que a imagem é dividida em 4 quadrantes, formados pela intercepção da linha de densidade, que representa o grau de desenvolvimento de um determinado tema no campo científico e linha de centralidade, que corresponde ao quanto este tema é importante no desenvolvimento do campo científico. Assim, as esferas localizadas no quadrante superior direito (*Industry 4.0*, *health-care* e *sustainable development*) representam os temas bem desenvolvidos, centrais e importantes para área de pesquisa relacionada à indústria têxtil 4.0. Portanto, são considerados como temas principais do período, neste caso, com destaque para *Industry 4.0*, que apresenta 107 documentos abordando o assunto.

No quadrante superior esquerdo encontra-se o tema *carbon*, que é considerado um tema bem desenvolvido, porém isolado dos demais estudados na área, sendo, portanto, considerado um tema periférico nesse estudo. As esferas localizadas no quadrante inferior esquerdo (*real time communication* e *computer applications*) representam temas pouco desenvolvidos e periféricos, considerados como emergentes ou que estão desaparecendo no momento.

No quadrante inferior direito encontra-se a esfera “*fibers*”. Considera-se este como um tema importante e básico para área de pesquisa, porém, pouco desenvolvido.

A Figura 8 ilustra como os temas são associados nas publicações de um determinado período (P3). O tamanho das esferas representa o número de documentos publicados usando o referido tema como palavra-chave, e as linhas que as conectam representam como os temas se relacionam e qual intensidade deste relacionamento, onde, à medida que a espessura da linha aumenta, maior é a relação entre as esferas conectadas, como ocorre por exemplo com a esferas ML (*Machine Learning*) e AI (*Artificial Intelligence*).

Figura 8 - Redes temáticas associadas (P3).



Sigla	Palavra-chave	Documentos	Sigla	Palavra-chave	Documentos
INDUSTRY 4.0	Industry 4.0	62	Wi-fi	Wireless communications	9
SF	Smart factory	34	AM	Additive manufacturing	7
IOT	Internet of things	32	MMGMT	Maintenance management	7
BD	Big data	26	ER	Engineering research	6
SCM	Supply chain management	26	RECPRO	Recycling processes	6
ITEX	Textile industry	22	AI	Artificial intelligence	5
EP	Environmental protection	21	BLOCKCHAIN	Blockchain	5
DMFG	Digital manufacturing	18	CE	Carbon emission	5
AUTONOMATION	Autonomation	16	IE	Industrial economics	5
BA	Business administration	13	IREV	Industrial revolutions	5
LR	Literature reviews	11	SENSORS	Sensors	5
IR	Industrial research	11	AUTOMOTIVE	Automotive	4
INNOVATION	Innovation	10	CHALLENGES	Challenges	4
CPS	Cyber physical systems	9	ML	Machine learning	4
MFGP	Manufacturing process	9	PROCO	Process control	4

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Analisando a Figura 8, observou-se a presença de temas periféricos bem desenvolvidos no período P3, como *smart fabrics*, *internet of things*, *supply chain management*, *environmental protection*, *Big Data* e *textile industry*. As linhas que conectam as esferas indicam fortes relações do tema principal, *Industry 4.0*, com os outros temas, como: *internet of things*, *cyber*

physical system, Big Data, industrial revolution, digital manufacturing, process control, engineering research, automation e textile industry.

Após a análise dos relatórios emitidos pelo SciMAT, observou-se como é crescente e relevante o relacionamento do tema Indústria 4.0 com a área têxtil, consolidando-se como um campo proeminente para estudos atuais e futuros.

Desta forma, a partir da metodologia definida para a realização desta revisão bibliográfica, o próximo passo concentrou-se inicialmente em entender e definir o conceito do tema principal, Indústria 4.0, sobretudo quais as tecnologias emergentes que compõem este conceito, como elas se relacionam com a área têxtil e quais as oportunidades existentes.

O *software* SciMAT também foi utilizado para a seleção dos periódicos para leitura, conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Seleção dos documentos para leitura usando o SciMAT.

The screenshot shows the SciMAT 1.1.04 interface. On the left, a 'Words list' table shows 'INDUSTRY-4.0' with 76 documents. On the right, the 'Word detail' panel shows 'INDUSTRY-4.0' selected, with a table of associated documents.

Name	Documents
2 INDUSTRY-4.0	76
172 IOT	46
85 MANUFACTURE	41
349 TEXTILE-INDUSTRY	37
170 BIG-DATA	35
54 SUPPLY-CHAIN-M...	32
388 ENVIRONMENTAL...	25
60 SUSTAINABLE-DE...	24
393 DIGITAL-MANUF...	24
1 AUTOMATION	23
93 INFORMATION-S...	18
1359 FIBERS	18
294 CYBER-PHYSICAL...	18
1491 LEAN-MANUFACT...	17
2079 BUSINESS-ADMIN...	16
150 SMART-MANUFA...	15
11 INDUSTRIAL-RES...	15
550 COMPUTER-AIDE...	15
630 APPAREL-INDUST...	14
55 SUSTAINABILITY	13
2071 SOCIAL-SCIENCES	13
58 PRODUCT-DESIGN	13
197 COMPUTER-APPL...	13
2063 APPLIED-SCIENCES	13
717 MAINTENANCE-M...	11

ID	Title	Authors	Year
230	Interactive workwear: Smart maint...	Greinke, B., Guetl, N., Wit...	2016	true	f...	f...
234	Weaving machine as cyber-physic...	Kemper, M., Gries, T., Glo...	2016	true	f...	f...
236	SCADA system design: A proposal ...	Carmona, J.A.R., BenÃ-te...	2016	true	f...	f...
233	Effects of cyber-physical productio...	Kemper, M., Gloy, Y.-S., S...	2016	true	f...	f...
237	Human-and task-centered assistan...	Gloy, Y.-S., Saggiomo, M.,...	2016	true	f...	f...
181	Industry 4.0: a way from mass cus...	Wang, Y., Ma, H.-S., Yang...	2017	true	f...	f...
185	Automation versus modeling and si...	Machova, K.	2017	true	f...	f...
187	Industry 4.0 - How will the nonwo...	Gries, T., Cloppenburg, F...	2017	true	f...	f...
203	Industry 4.0: A survey on technol...	Lu, Y.	2017	true	f...	f...
208	State-of-Art review on new emergi...	Zhang, J., Zhou, J., Yao, ...	2017	true	f...	f...
210	Industrial cyber-physical systems i...	PÃ©rez, J.B., Arrieta, A.G...	2017	true	f...	f...

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Dentre os 277 documentos cujos dados bibliométricos foram importados, aqueles que apresentaram “Industry 4.0” ou “Industrie 4.0” como palavra-chave (76 documentos), foram selecionados por intermédio do *software*. Na sequência, estes documentos foram lidos na íntegra, servindo de base para a definição do conceito de Indústria 4.0 e de suas tecnologias

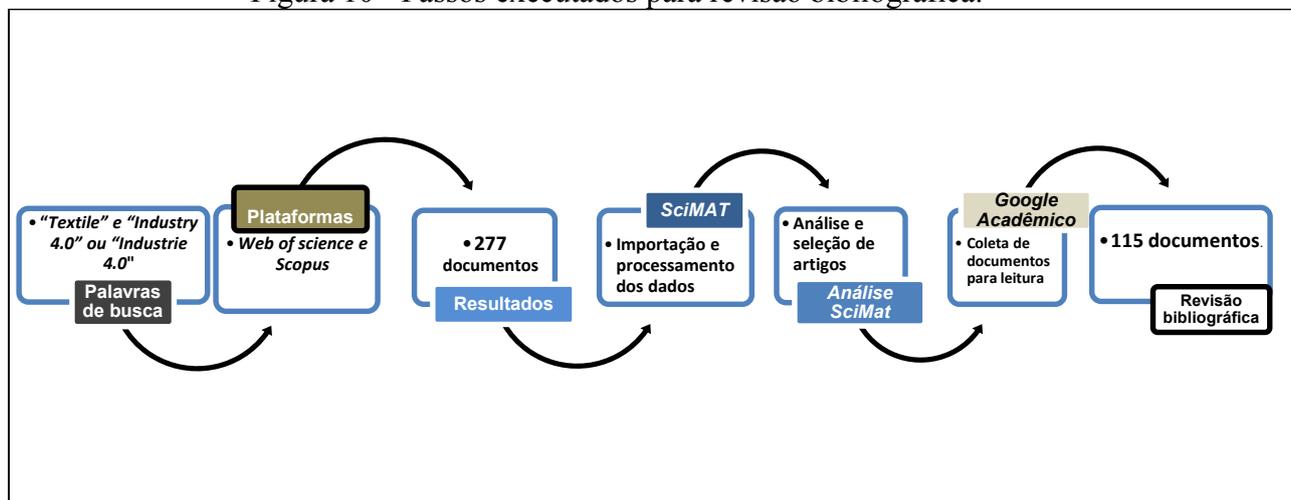
componentes. De maneira semelhante, realizou-se a revisão da literatura das tecnologias emergentes que compõem o conceito supracitado e o mapeamento das respectivas oportunidades de aplicação na área têxtil.

Além dos 76 documentos supracitados, também foram utilizados outros 39 documentos servindo de base para definir e entender melhor os conceitos relacionados, bem como tornar o estudo mais abrangente, sendo:

- 9 documentos publicados entre 30 de agosto 2019 e 17 de outubro 2020.
- 30 documentos, citados como referência bibliográfica nos 76 selecionados através do SciMAT.

O procedimento para coleta dos documentos usados na revisão bibliográfica apresentada no capítulo 4 está representado na Figura 10.

Figura 10 - Passos executados para revisão bibliográfica.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

4 TECNOLOGIAS COMPONENTES DA INDÚSTRIA 4.0: DEFINIÇÕES, APLICAÇÕES NA ÁREA TÊXTIL, VANTAGENS E DESAFIOS

A Indústria 4.0 é caracterizada pela implementação de um conjunto de inovações tecnológicas no ambiente fabril, promovendo a automatização, a conectividade e a autonomia dos processos produtivos. Este capítulo irá abordar o conjunto de tecnologias emergentes que integram o conceito de Indústria 4.0 (*internet of things*, computação em nuvem, *Big Data*, robótica industrial, manufatura aditiva, realidade aumentada, integração vertical e horizontal de sistemas, simulação virtual e cibersegurança) incluindo definições, mecanismos de funcionamento, aplicações na área têxtil e de confecção e suas respectivas vantagens e desafios.

4.1 INTERNET DAS COISAS (IOT)

O conceito de IoT refere-se a milhares de dispositivos (máquinas, sensores, atuadores, celulares, entre outros) que são capazes de conectar-se à internet e atuar em conjunto para atingir objetivos específicos em comum (ALCAYAGA, *et al.*, 2019; LU, 2017; GONZALEZ, *et al.*, 2010).

A IoT, portanto, permite que objetos e máquinas se tornem “usuários” na rede de internet, acessando e compartilhando dados e informações, condição esta necessária para criação dos Sistemas Ciberfísicos de Produção (CPS). Juntos, IoT e CPS, formam a base para o desenvolvimento do conceito da Indústria 4.0 (SCHWAB, 2017).

Um sistema CPS trata-se de uma fusão do mundo real com o virtual por meio de um conjunto de elementos computacionais (sensores e atuadores), que apoiados pela IoT, interagem de maneira coordenada, onde sensores monitoram e coletam dados e atuadores agem modificando o ambiente (GONZALEZ, *et al.*, 2010; PEREZ *et al.*, 2016; KUMAR *et al.*, 2014).

Em um ambiente de manufatura, a junção das tecnologias IoT e CPS é idealizada para operar como uma rede industrial de internet (IoT), na qual máquinas e outros dispositivos da fábrica estão conectados e interagem entre si (CPS), de modo que seja possível: adaptar-se automaticamente às mudanças; facilitar o planejamento e o controle dos processos; e promover a comunicação entre o produto, a máquina e o homem (ALCAYAGA, 2019; DEL CAMPO *et al.*, 2018; GONZALES *et al.*, 2010; PEREZ *et al.*, 2016).

Em síntese, o objetivo proposto é ter todas as máquinas, sistemas, processos de produção e consumo conectados, criando assim as chamadas fábricas inteligentes (XIA *et al.*, 2012).

Existem várias tecnologias que podem ser usadas para implementar o conceito de IoT e conseqüentemente, sistemas CPS, dentre as quais se destacam (ALCAYAGA, *et al.*, 2019):

- Identificação de rádio frequência (RFID): método de identificação automática de objetos através de ondas de rádio, que recupera e armazena os respectivos dados remotamente. O sistema é composto, basicamente, de um dispositivo transponder (etiqueta RFID), um dispositivo transceptor (antena) e um dispositivo leitor. As etiquetas RFID contam com um circuito integrado. Assim, a antena recebe o sinal de onda que é transmitido a um leitor que converte as ondas de radiofrequência para informações digitais, possibilitando sua leitura por um computador. Os sistemas RFID podem ser usados em muitas aplicações, como no monitoramento, gestão e controle de estoque, rastreamento e logística. As distâncias de reconhecimento (0,30 – 608,4 m) e dimensões da etiqueta variam de acordo com o tipo escolhido.
- Comunicação por campo próximo (NFC): é uma tecnologia de radiofrequência, diferenciando-se das demais pela distância de operação, em torno de 0 a 20 cm entre os dispositivos, bastando aproximá-los para que a comunicação ocorra. A tecnologia é indicada para situações em que os dados não podem estar disponíveis em sinais abertos;
- Comunicação máquina-a-máquina (M2M): refere-se à interação entre computadores, processadores, sensores em rede, atuadores e dispositivos móveis. Esta tecnologia pode ser usada em todo o tipo de integração de dados e comunicação, basta que os equipamentos envolvidos se conectem à uma rede em comum;
- Comunicação veículo-a-veículo (V2V): rede onde veículos comunicam-se entre si usando sensores conectados à internet. Sua aplicação tem como principais objetivos: segurança e prevenção de acidentes; gestão de tráfego; monitoramento e acesso a serviços via internet.

A IoT, combinada com outras tecnologias emergentes, como *Big Data* e computação em nuvem, otimiza o processo de gerenciamento de dados (coleta, processamento, análise, transmissão), bem como potencializa o nível de inteligência e automação dos processos (LIAO, 2019).

Atualmente, a IoT está permeando em todos os campos industriais, especialmente na indústria de transformação. Seu desenvolvimento é fundamental para implementação da Indústria 4.0 (GONZALES *et al.*, 2010).

4.1.1 A IoT na área têxtil

A aplicação da IoT na indústria têxtil tem aumentado consideravelmente, conectando e transferindo informações através das fábricas, fornecedores e clientes, que por intermédio da tecnologia, podem participar dos processos de desenvolvimento, melhoria e manufatura de produtos (XIA *et al.*, 2012; LU, 2017; GONZALES *et al.*, 2010;).

Algumas oportunidades de aplicação da IoT na área têxtil são:

- Comércio: tecnologias de IoT aprimoram as experiências interativas entre fabricantes e consumidores. Por exemplo, uma loja de artigos de vestuário equipada com sistema de rastreamento de dispositivos móveis pode reconhecer que seu cliente está próximo, então enviar a seu smartphone conteúdo exclusivo sobre ofertas e oportunidades (CHEN, 2018).
- Planejamento e controle do processo produtivo: através da utilização das tecnologias IoT e CPS, informações referentes ao cliente, o produto e o processo são obtidas em tempo real, possibilitando o planejamento e a gestão da cadeia têxtil e de confecção a partir da verificação da capacidade real da fábrica, o status do processo e o desejo do cliente (LIAO *et al.*, 2019; XIA *et al.*, 2012; SURJIT *et al.*, 2017).
- Gestão da cadeia de suprimentos: o emprego de tecnologias de IoT e CPS (RFID, M2M, sensores em rede) possibilita que informações e os dados gerados ao longo da cadeia sejam obtidos e compartilhados através da internet. Permitindo que os sistemas de controle de estoque, análise de demanda, compras, e logística atuem de maneira autônoma (GONZALEZ *et al.*, 2010; XIA *et al.*, 2012; SURJIT *et al.*, 2017; COLOMBO *et al.*, 2014; LEE *et al.*, 2018).
- Áreas de criação e desenvolvimento: por intermédio da utilização de tecnologias de IoT (RFID, M2M, sensores em rede), pode-se coletar dados gerados ao longo de toda a vida do produto e utilizar estas informações para aumentar a eficácia de seus processos ou a melhoria dos produtos em si (GONZALEZ *et al.*, 2010; ALCAYAGA *et al.*, 2019; AYDOS *et al.*, 2019; SURJIT *et al.*, 2017; COLOMBO *et al.*, 2014).

4.1.2 Vantagens

A aplicação de tecnologias de IoT em empresas da área têxtil permite que informações valiosas provindas de máquinas, produtos, fornecedores e clientes, possam ser analisadas e

compartilhadas em tempo real. A fábrica tem meios de atuar como um mecanismo vivo e inteligente, reorganizando-se de acordo com seus objetivos (XIA *et al.*, 2012; COLOMBO *et al.*,2014).

Outros benefícios da utilização desta tecnologia na cadeia têxtil são listados a seguir (DEL CAMPO *et al.*, 2018; HASEEB *et al.*, 2019; LIAO *et al.*, 2019; LU, 2017; GONZALES *et al.*, 2010; SURJIT *et al.*, 2017; COLOMBO *et al.*,2014):

- Tomadas de decisão rápidas e assertivas;
- Maior velocidade na transferência de dados;
- Integração entre fornecedor e cliente no processo produtivo, permitindo o desenvolvimento de produtos e serviços compartilhados e personalizados;
- Gestão do ciclo de vida do produto, oferecendo informações que possibilitam a melhoria dos produtos e o entendimento sobre as necessidades dos clientes;
- Aumento da eficiência e redução de custos nos processos de planejamento, desenvolvimento de produto, produção, distribuição e vendas.

4.1.3 Desafios

A tecnologia de IoT enfrenta alguns desafios para sua expansão na cadeia têxtil e de confecção. Dentre eles, pode-se citar (ALCAYAGA *et al.*, 2019; DEL CAMPO *et al.*, 2018; HASEEB *et al.*, 2019; LU, 2017; SURJIT *et al.*,2017):

- Garantir a privacidade e segurança dos dados e informações;
- Criar mecanismos de padronização que garantam a interoperabilidade e compatibilidade dos mais variados dispositivos e serviços;
- Aumentar o número de endereços disponíveis na rede de internet para endereçamento de dispositivos.

4.2 COMPUTAÇÃO EM NUVEM

A computação em nuvem é caracterizada por fornecer, por intermédio da internet, recursos computacionais (armazenamento de arquivos, servidores virtuais, banco de dados, *softwares* entre outros). Estes recursos são flexíveis e escaláveis, podendo ser acessados a partir de qualquer dispositivo computacional de acordo com a demanda do cliente (KNNOR *et al.*, 2008; BRUNO, 2016; DAMODARAM *et al.*, 2010; SONG *et al.*, 2018).

Os quatro principais modelos de implementação da tecnologia de computação em nuvem são (MOCH *et al.*, 2011):

- Nuvem privada: propriedade de uma única empresa que faz uso exclusivo dos recursos na nuvem, protegida por *firewall* e administrada de acordo com o regimento da organização;
- Nuvem comunitária: pode ser compartilhada por diversas empresas que, normalmente, possuem interesses em comum. A administração geralmente é realizada por uma das empresas parceiras;
- Nuvem pública: várias empresas podem usá-la ao mesmo tempo; o provedor da nuvem é responsável pela manutenção e segurança de informações;
- Nuvem híbrida: composta de duas ou mais nuvens que preservam as características do seu modelo original, interligadas por uma tecnologia que possibilita a portabilidade de informações e aplicações. Serve para o balanceamento de carga das outras nuvens.

Dentre os principais serviços oferecidos através da computação em nuvem, destacam-se (BRUNO, 2016; DAMODARAM *et al.*, 2010):

- *Software* como Serviço (SaaS): fornecimento de um *software* ou plataforma de serviço na nuvem;
- Infraestrutura como Serviço (IaaS): utilização de serviço de infraestrutura de tecnologia de informação (TI) sob demanda (servidores, espaço de armazenamento, redes, sistemas operacionais);
- Provedor de Serviços gerenciados (MSP): serviços de *e-mails* corporativos, sistemas *anti-spams*, gerenciadores de *desktop*, hospedagem de *sites*, *backup* ou cibersegurança;
- Plataforma como Serviço (PaaS): serviço de computação em nuvem que fornece uma estrutura para desenvolvimento, teste, fornecimento e gerenciamento de aplicativos de *software*;
- *Big Data* como Serviço (BDaaS): serviço de computação em nuvem que promove coleta, armazenamento, processamento e análise de um grande conjunto dados.

A computação móvel tem se tornado cada vez mais acessível, sendo que no ano de 2021, aproximadamente 100 bilhões de dispositivos estavam conectados à internet. Esse número expressivo deve potencializar a utilização da tecnologia de computação em nuvem (CHEN, 2019; ANWAR *et al.*, 2018; GHANI *et al.*, 2018).

Na indústria, a aplicação da computação em nuvem deve aumentar, proporcionando benefícios a toda cadeia de valor, como a utilização de recursos computacionais de acordo com a demanda, melhora na comunicação entre seus integrantes e atuação integrada entre os processos (CHEN, 2019; DEL CAMPO *et al.*, 2018; HASEEB *et al.*, 2019; SURJIT *et al.*, 2017).

4.2.1 Computação em nuvem na área têxtil

A indústria têxtil e de confecção têm encontrado na tecnologia da computação em nuvem oportunidades de criar novos modelos de negócios, bem como melhorar o fluxo de informações ao longo de sua cadeia e reduzir custos (DAMODARAM *et al.*, 2010):

Algumas oportunidades de aplicação da computação em nuvem na área têxtil são:

- Produção de itens personalizados no vestuário: através de serviços de computação em nuvem e a internet, plataformas de desenvolvimento compartilhado e serviços de customização de produtos têm sido utilizados como meio de envolver o cliente no processo, viabilizando assim, a produção de produtos personalizados (FERNÁNDEZ *et al.*, 2019; JAIN *et al.*, 2017; HASEEB, *et al.*, 2019);
- Execução de serviços e processos da cadeia têxtil: através de *softwares* ou plataformas de serviço disponíveis na nuvem, como *Computer Aided Design* (CAD), *Computer Aided Manufacturing* (CAM), *Supply Chain Management* (SCM), *Product Lifecycle Management* (PLM), *Customer Relation Management* (CRM), *e-commerce*, ou *Enterprise Resource Planning* (ERP), uma série de serviços e processos da cadeia têxtil (planejamento, desenvolvimento de produto, controle produtivo, logística, vendas, entre outros) podem ser executados, permitindo reduzir o investimento em infraestrutura sem perder desempenho (BRUNO, 2016; AYDOS *et al.*, 2019; DEL CAMPO *et al.*, 2018; SURJIT *et al.*, 2017; KNNOR *et al.*, 2008; GHANI *et al.*, 2015);
- Varejo: ao utilizar serviços computacionais na nuvem, como *Big Data*, *Body Scanning* e simulação, o lojista oferece aos clientes novas experiências de compra. Nestes, o cliente pode personalizar seu produto e visualizar o resultado de sua criação em um terminal interativo que, integrado aos sistemas ERP e CRM da fábrica, pode provocar o início do processo de manufatura, assim que a compra é efetuada (BRUNO, 2016; JAIN *et al.*, 2017; HASEEB *et al.*, 2019; SCHWAB, 2017).

4.2.2 Vantagens

A computação em nuvem possibilita que empresas têxteis e de confecção acessem e gerenciem informações internas (cadeia produtiva) e externas (fornecedores e clientes) em tempo real, bem como reduzam seus investimentos em infraestrutura (KNNOR *et al.*, 2008; GHANI *et al.*, 2015).

Outros benefícios da utilização da tecnologia são (CHEN, 2019; COLOMBO *et al.*, 2014; KNNOR *et al.*, 2008; SCHWAB, 2017; ANWAR *et al.*, 2018; GHANI *et al.*, 2015; MOCH *et al.*, 2011; JAIN *et al.*, 2017):

- Compartilhamento facilitado de informações entre máquinas, dispositivos móveis e humanos;
- Mobilidade no acesso e prestação de serviço;
- Personalização dos produtos e novos canais de varejo;
- Infraestruturas flexíveis e escaláveis;
- Agilidade no desenvolvimento e comércio de produtos;
- Melhor visibilidade e coordenação da cadeia produtiva e de suprimentos;
- Controles efetivos e em tempo real de estoques;
- Virtualização e digitalização da cadeia de valor;
- Elevada capacidade de armazenamento e gerenciamento de dados;
- Serviços de *backup* automático;
- Economia de recursos, utilização de serviços sob demanda.

4.2.3 Desafios

A tecnologia da computação em nuvem ainda enfrenta alguns desafios e restrições em relação a sua utilização na cadeia têxtil. Dentre eles, pode-se citar (CHEN, 2019; SCHWAB, 2017; ANWAR *et al.*, 2018; GHANI *et al.*, 2018; LEE *et al.*, 2018):

- Segurança e privacidade das informações acessadas e disponíveis na nuvem;
- Custo de implementação, quando relacionada a pequenas e médias empresas;
- Desenvolvimento de uma maior e melhor rede de internet móvel;
- Regulamentação dos modelos de prestação de serviço na nuvem.

4.3 BIG DATA

Uma definição criativa e geral para *Big Data* é a associação de cinco palavras que iniciam com a letra “v” (DAMODARAM *et al.*, 2010; MOCH *et al.*, 2011; SONG *et al.*, 2018; CHEN *et al.*, 2017; ZHOU *et al.*, 2017; GE *et al.*, 2018):

- Volume: representa o tamanho do conjunto de dados, que geralmente excede a capacidade de *softwares* convencionais;
- Velocidade: refere-se à agilidade com que os dados são coletados, processados e disponibilizados para uso;
- Variedade: consiste na diversidade dos dados armazenados, que podem ter diferentes fontes e formatos, como estruturados (dados provenientes de ERP, transações efetivadas no cartão bancário); semiestruturados (conteúdo de um *e-mail*) ou não estruturados (referente a vídeos e imagens);
- Veracidade: relacionado à precisão dos dados extraídos, bem como sua atualização;
- Valor: consiste nos benefícios e conhecimentos obtidos através dos dados processados.

O processo que engloba a *Big Data* é composto por cinco fases principais: extração de dados; carregamento e pré-processamento de dados; análise de dados; carregamento e transformação de dados; visualização e tomada de decisão (GE *et al.*, 2018; FERNÁNDEZ *et al.*, 2019).

Portanto, a tecnologia *Big Data* pode ser definida como um termo que se refere à coleta, armazenamento, processamento e análise de um grande conjunto dados, de diferentes fontes e formatos (GE *et al.*, 2018; GHANI *et al.*, 2018; FERNÁNDEZ *et al.*, 2019; MOSAVI *et al.*, 2017; SCARPELLINI *et al.*, 2016; MELNYK *et al.*, 2018).

A coleta de informações é realizada com apoio de outras tecnologias, como a IoT, mídias sociais, computação em nuvem, identificação de rádio frequência (RFID), sensores e dispositivos móveis com serviços de computação embutida (*smartphones*, dispositivos GPS, *tablets*) (ZHOU *et al.*, 2017; FERNÁNDEZ *et al.*, 2019; SHARMA *et al.*, 2019).

O objetivo desta tecnologia é fornecer informações úteis para tornar a gestão dos processos mais eficiente e inteligente (GE *et al.*, 2018; IMRAN *et al.*, 2018; MELNYK *et al.*, 2018).

A utilização da *Big Bata* construirá um novo modelo de indústria, a partir da interconexão entre as fábricas. Através dos elevados níveis de automação e controle, alguns resultados estimados são (CLOPPENBURG *et al.*, 2017; ZHOU *et al.*, 2017):

- Aumento de 3 a 5% da produtividade;
- Redução de 30 a 50% do total tempo de inatividade dos equipamentos;
- Incremento de 20 a 40% da vida útil das máquinas/equipamentos;
- Acréscimo de 45 a 55% na produtividade do trabalho;
- Redução de 10 a 20% nos custos da não qualidade.

Nesse contexto, a tecnologia *Big Data* vem ganhando atenção de gestores na indústria, uma vez que sua aplicação traz mudanças aos modelos atuais de produção, tornando-os mais inteligentes e precisos, permitindo o fornecimento de bens e serviços mais personalizados, além de auxiliar os fabricantes a produzir com mais eficiência e qualidade (GE *et al.*, 2018; FERNÁNDEZ *et al.*, 2019; LEE *et al.*, 2014; MELNYK *et al.*, 2018).

4.3.1 *Big Data* na área têxtil

As áreas de aplicação da tecnologia *Big Data* no segmento têxtil podem contemplar toda cadeia de valor, na qual, apoiada pelas tecnologias de IoT e computação em nuvem, transforma seus dados gerados ao longo da cadeia em informações que auxiliam as indústrias na busca por estratégias mais competitivas, assim como oferece incentivo para a criação de novos modelos de negócio (SHARMA *et al.*, 2019; CLOPPENBURG *et al.*, 2017).

Algumas oportunidades de aplicação da *Big Data* na área têxtil são:

- Aplicação no segmento de moda: os dados coletados na rede mundial de internet (redes sociais, propaganda, catálogos virtuais) são processados e transformados em relatórios estatísticos com informações valiosas, como tendências, perfis e comportamentos dos clientes (SCHWAB, 2017; GHANI *et al.*, 2015). Estas informações permitem um melhor planejamento da coleção, bem como proporcionar o desenvolvimento eficaz e personalizado de produtos (JAIN *et al.*, 2017; CHEN *et al.*, 2017; ACHARYA *et al.*, 2018; SALAH *et al.*, 2014);
- Auxílio no desenvolvimento de produto: o cliente acessa uma plataforma que contém informações previamente cadastradas (tecidos, opções de modelo, cores, técnicas produtivas), informa suas medidas (inseridas ou capturadas a partir do *body scanner*, por exemplo) e o contexto de utilização da peça a ser desenvolvida (social, casual, esportivo). Na sequência, o serviço de *Big Data* utiliza sua base de informações para recomendar uma combinação que melhor corresponda ao desejo do cliente e suas

medidas, incluindo tipos de tecido, aviamentos, padrões de modelagem e design da peça (JAIN *et al.*, 2017; FERNÁNDEZ *et al.*, 2019; CHEN *et al.*, 2017);

- Rastreabilidade, monitoramento e controle do processo produtivo: os equipamentos são conectados à rede de internet e transferem seus dados (condições da máquina, *status* do processo, problemas de qualidade) a um servidor, que os compara com parâmetros pré-estabelecidos. Na sequência, os resultados são disponibilizados aos usuários através de relatórios, podendo ser enviados para diferentes dispositivos (SCARPELLINI *et al.*, BUMBLAUSKAS *et al.*, 2017; 2016; GHANI *et al.*, 2015; MELNYK *et al.*, 2018; ACHARYA *et al.*, 2018);
- *Wearables*: produtos têxteis inovadores, a partir da introdução de sensores e módulos de comunicação que conectam o vestuário à rede, através da IoT, incorpora-se em sua construção benefícios que vão além dos tradicionais conforto e estilo. Esse tipo de vestuário pode coletar e transferir os sinais vitais do usuário para um banco de dados (*Big Data*), que os armazena, processa e analisa, formulando um diagnóstico que pode ser enviado a qualquer dispositivo inteligente (SCHWAB, 2017; SONG *et al.*, 2018; CHEN *et al.*, 2017; BORDEL *et al.*, 2018).

4.3.2 Vantagens

A elevada capacidade de coleta, armazenamento e tratamento de dados possibilitada pelo *Big Data*, torna esta tecnologia uma ferramenta estratégica na integração total das fábricas, possibilitando-as tornar mais ágeis e inteligentes (GONZALEZ *et al.*, 2010; MOSAVI *et al.*, 2017). A tecnologia *Big Data* potencializa a relação das indústrias do setor têxtil com seus clientes, principalmente no varejo, onde, por meio de dados extraídos da internet, mídias sociais e outros canais, a indústria pode conhecer melhor seus clientes. Além disso, outros benefícios podem ser verificados (ANWAR *et al.*, 2018; JAIN *et al.*, 2017; CHEN *et al.*, 2017; GE *et al.*, 2018; MELNYK *et al.*, 2018; BUMBLAUSKAS *et al.*, 2017; SALAH *et al.*, 2014):

- Tomadas de decisão baseadas em evidências para a construção de valor ao negócio;
- Redução dos tempos de desenvolvimento e maior assertividade do processo;
- Otimização da produção;
- Processos de manutenção mais eficientes, reduzindo o tempo que as máquinas estão paradas;
- Rastreabilidade;

- Identificação de status do produto ou processo em tempo real;
- Controle do processo;
- Previsibilidade do processo.

4.3.3 Desafios

A tecnologia *Big Data* enfrenta alguns desafios para sua expansão na cadeia têxtil. Dentre eles, destacam-se (ANWAR *et al.*, 2018; GHANI *et al.*, 2018; SHARMA *et al.*, 2019):

- Garantia da privacidade dos dados;
- Confiança sobre os dados extraídos;
- Rastreabilidade de quem utiliza e como usa os dados.

4.4 ROBÓTICA INDUSTRIAL

A robótica industrial pode ser definida como um conjunto de ferramentas ou dispositivos automáticos utilizados para auxiliar ou executar tarefas normalmente atribuídas aos humanos (HÄGELE *et al.*, 2008). Os primeiros registros da utilização de robôs em processos industriais iniciaram na década de 50, a partir da implementação da eletrônica e sistemas de informação, com o objetivo de automatizar alguns processos (WEISS *et al.*, 2016).

Nesta última década, a robótica vem ganhando destaque nos processos industriais. Em consequência, vários setores produtivos têm se beneficiado do seu uso para tornar seus processos mais velozes e econômicos. Algumas atividades que utilizam robôs na indústria são (SHARMA *et al.*, 2019; HÄGELE *et al.*, 2008):

Soldagem: possibilidade de soldar peças grandes, em locais de difícil acesso, com precisão e velocidade;

- Montagem: manuseio e posicionamento de grandes peças, evitando problemas ergonômicos nos colaboradores, garantindo precisão, repetitividade e eficiência;
- Pintura: executar com precisão atividades que podem prejudicar a saúde e o bem-estar dos humanos, como a pintura, proporcionando velocidade, reprodutibilidade e a utilização adequada de matéria-prima;
- Movimentação e transporte: capacidade de movimentar grandes peças com velocidade e precisão, reduzindo movimentos desnecessários.

Atualmente 1,1 milhão de robôs estão presentes na indústria automotiva. O mesmo estudo revela que robôs e máquinas respondem por 80% do trabalho na fabricação de um carro (ANWAR *et al.*, 2018). Os desafios enfrentados na implementação da robótica industrial estão focados na evolução dos robôs em três segmentos principais, sendo estes (PEREZ *et al.*, 2016):

- Conhecimento e percepção: atribuir ao robô a capacidade de perceber os movimentos que ocorrem no ambiente de trabalho, entendê-los e reagir a eles;
- Manipulação: capacitar robôs a manipular com precisão pequenos objetos em seu ambiente de trabalho;
- Interação: robôs capazes de cooperar com humanos na execução das tarefas, atuando de maneira a otimizá-las.

O desenvolvimento de novas tecnologias digitais e de comunicação tem acelerado esta implementação, promovendo o surgimento de uma nova geração de robôs com capacidade de superar os desafios supracitados (KARABEGOVIĆ, 2017). Cada vez mais verifica-se os robôs inteligentes, que acessam informações remotamente e comunicam-se em rede e apresentam capacidade de executar diversas tarefas (ANWAR *et al.*, 2018; JAYARAM, 2016; ŠKRINJAR *et al.*, 2018).

Esta nova geração de robôs vem sendo chamada de “*cobots*”, termo que é a junção das palavras *collaborative* e *robot*. Os *cobots* são robôs colaborativos, com sensores integrados de percepção de movimento e obstáculos, desenvolvidos para interagir com humanos em um ambiente de trabalho compartilhado (SCHWAB, 2017; ANWAR *et al.*, 2018; MICHALOS *et al.*, 2018). O principal objetivo dos *cobots* é tornar as tarefas menos desgastantes e mais produtivas (SCHWAB, 2017).

É importante mencionar que a robótica industrial se encontra em um momento de expansão. Isso se deve a sua proposta na redução de custo operacional e aumento de produtividade (SHARMA *et al.*, 2019; WEISS *et al.*, 2016; BERTOLA *et al.*, 2018). Outro fator positivo da implementação da robótica na indústria é a melhoria das condições de trabalho dos colaboradores, retirando-os de atividades que possam requerer elevado esforço físico, estressantes e prejudiciais à saúde (SCHWAB, 2017; WEISS *et al.*, 2016; LARSEN *et al.*, 2017; MACHOVA, 2018). Nesse contexto, a robótica tem se tornado cada vez mais popular na manufatura, e suas utilizações variam de simples operações de transporte a tarefas complexas, como avaliar a qualidade de uma peça (SCHWAB, 2017; WEISS *et al.*, 2016).

4.4.1 Robótica Industrial na área têxtil

A indústria têxtil e de confecção, perante os desafios de redução de custos e escassez de mão-de-obra qualificada, tem aumentado significativamente o uso da robótica em seus processos produtivos (JU, 2014; HASEEB *et al.*, 2019). Além disso, o emprego da robótica ajuda a reduzir problemas relativos à falta de padronização e a qualidade dos produtos, bem como a crescente tendência de personalização em massa inserida pelo conceito “*fast fashion*” (BERTOLA, 2018)

Nesse sentido, alguns projetos de indústrias têxteis 4.0 propõem pequenas unidades fabris, nas quais a robótica é aplicada nos processos produtivos (SCHWAB, 2017), permitindo-lhes produzir produtos com preços que competem com os fabricados em grande escala, com a vantagem de oferecer ao mercado itens personalizados em um tempo de produção reduzido (BERTOLA *et al.*, 2018; JAYARAM, 2016).

No ambiente proposto pela Indústria 4.0, a robótica exerce papel fundamental, atuando de maneira a cooperar e apoiar os humanos nas execuções das tarefas industriais, ou seja, robôs e humanos trabalham cada vez mais próximos (WEISS *et al.*, 2016; LARSEN *et al.*, 2017).

A automatização das fábricas e os últimos desenvolvimentos tecnológicos acabaram por criar novas opções de aplicação da robótica na indústria têxtil (KARABEGOVIĆ, 2017; BERTOLA *et al.*, 2018). Algumas oportunidades de aplicação da robótica na área têxtil são:

- Processos logísticos: a robótica pode ser aplicada através de veículos autônomos, usados para transporte interno nas fábricas ou externo para clientes e fornecedores, proporcionando flexibilidade e eficiência durante a movimentação de materiais e produtos (JAYARAM, 2016; JONES, 2006). Alguns exemplos são a utilização de drones para entrega de peças de vestuário (MARINELLI *et al.*, 2017) e o monitoramento e controle de estoque usando um modelo de veículo autônomo provido de tecnologias de rastreamento (BECHTSIS *et al.*, 2018);
- Manufatura têxtil: os cobots podem executar atividades colaborativas com os humanos, como dobrar peças, coletar pacotes, preparar lotes e embalar produtos (ANWAR *et al.*, 2018; KARABEGOVIĆ, 2017; GUIZZO, 2018; ŠKRINJAR *et al.*, 2018). Na costura, através da robótica, desenvolveu-se dispositivos, que integrados as máquinas convencionais do processo, minimizam as intervenções manuais (KARABEGOVIĆ, 2017) ou as eliminam (JU *et al.*, 2014);
- Controle de qualidade: usando um braço mecânico integrado a um sistema de visão robótica e sensores, uma estação de inspeção autônoma pode ser criada, na qual o braço

recebe e posiciona a produto inspecionado de acordo com o sinal recebido. Assim, produtos aprovados seguem o processo produtivo para a respectiva embalagem e expedição; se reprovados, são retirados do processo (ANWAR *et al.*, 2018; SALCHAK *et al.*, 2019; PANG *et al.*, 2018).

4.4.2 Vantagens

A robótica industrial, quando aplicada a área têxtil, pode trazer benefícios a indústria, colaboradores e clientes, tais como (SCHWAB, 2017; ANWAR *et al.*, 2018; WEISS *et al.*, 2016; MACHOVA, 2018; KARABEGOVIĆ, 2017; BERTOLA *et al.*, 2018; JAYARAM, 2016; JONES, 2006; MICHALOS *et al.*, 2018; BECHTSIS *et al.*, 2018; STRAUB, 2017):

- Aumento da eficiência na logística;
- Melhora nas condições de trabalho dos colaboradores;
- Redução do tempo produtivo, dos custos operacionais e conseqüentemente do preço do produto;
- Aumento da produtividade, qualidade e padronização de produtos.

4.4.3 Desafios

A robótica industrial enfrenta alguns desafios para que possa aumentar seu nível de implementação na indústria têxtil, dos quais se destacam (SCHWAB, 2017; WEISS *et al.*, 2016; BERTOLA *et al.*, 2018; JONES, 2006; BECHTSIS *et al.*, 2018; BORGIANNI, MACCIONI e BASSO, 2019):

- Criação de robôs com aparência mais amigável para os humanos e que atuem colaborativamente;
- Robôs com capacidade de manipular eficientemente pequenos itens, tais como botões;
- Elevado custo de implantação, quando relacionado à produção de itens de baixo valor agregado;
- Conhecimento técnico em robótica dos colaboradores.

4.5 MANUFATURA ADITIVA

A Manufatura Aditiva (MA) é o termo formal para o que se define popularmente como impressão tridimensional (3D) (SCHWAB, 2017; STRAUB, 2017; MATTHEWS *et al.*, 2017; ARRIBAS *et al.*, 2018).

A tecnologia é de conhecimento da indústria desde os anos 70, porém, inicialmente, era apenas utilizada em áreas de prototipagem e simulação, devido a rapidez de desenvolvimento, servindo como base para análises, ajustes e aprovação. A partir dos anos 2000 passou também a ser empregada na produção de produtos acabados, surgindo, a partir daí as primeiras aplicações específicas da tecnologia na área têxtil (NASCIMENTO *et al.*, 2019; ARRIBAS *et al.*, 2018).

Em síntese, a tecnologia consiste em criar modelos físicos, sejam produtos completos ou partes dos mesmos, por intermédio da impressão dos dados provenientes de um modelo virtual. Assim, durante o processo de impressão, os dados são transformados em uma série de seções transversais bidimensionais de espessura determinada, que depositadas uma sobre a outra, formam um modelo físico do produto em 3D (ARRIBAS *et al.*, 2018; SIEMIENIUCH *et al.*, 2015).

Vários métodos permitem a produção aditiva de formas 3D, como estereografia, litografia, modelagem por sinterização a laser ou deposição por fusão (BEECROFT, 2016; BORGIANNI *et al.*, 2019; ARRIBA *et al.*, 2018; SIEMIENIUCH *et al.*, 2015).

Figura 11 - Etapas do processo da MA.

<p>1. CONCEITUALIZAÇÃO E CAD</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Definições sobre o <i>design</i> e as funcionalidades do produto • Virtualização do produto no formato 3D, utilizando <i>software</i> (CAD)
<p>2. CONVERSÃO DE DADOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Conversão dos dados do modelo virtual em um formato estereolitográfico
<p>3. TRANSFERÊNCIA</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Transferência do arquivo para equipamento de impressão 3D
<p>4. CONFIGURAÇÃO DO EQUIPAMENTO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ajustes de parâmetros específicos de impressão no <i>software</i> do equipamento • Abastecimento do equipamento de impressão com matéria-prima
<p>5. CONSTRUÇÃO OU IMPRESSÃO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Início do processo de impressão • Controle do processo pelo computador e execução pelo equipamento de impressão
<p>6. REMOÇÃO E LIMPEZA</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Remoção do material excedente após impressão e limpeza do produto
<p>7. PÓS - PROCESSAMENTO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Acabamento do produto, podendo envolver procesos abrasivos, polimento, aplicação de revestimento, tratamento químico, térmico, entre outros
<p>8. APLICAÇÃO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação do produto impresso, realização de ensaios diversos para validar suas propriedades físicas e funcionalidades

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A fabricação de artigos por impressão 3D tem sido disseminada em diversos setores da indústria, devido à flexibilidade e atendimento personalizado que a MA propicia. Os consumidores podem obter produtos desenvolvidos sob medida para suas necessidades, e fornecedores podem criar peças que possam ser personalizadas ou produzidas em escala unitária (SCHWAB, 2017; STRAUB, 2017).

O uso da impressão 3D encontra aplicação em diversas áreas, incluindo fabricação de membros artificiais, sensores, vestuário, calçados, entre outros (STRAUB, 2017; SIMONIS et

al., 2017; LIEST *et al.*, 2017; BEECROFT, 2016; ARRIBAS *et al.*, 2018; SIEMIENIUCH *et al.*, 2015).

Inúmeros materiais podem ser impressos, como plásticos, nanocompósitos, produtos farmacêuticos, materiais biodegradáveis, metais, madeira, fibras de carbono, basalto e concreto (STRAUB, 2017; BORGIANNI *et al.*, 2019; GIBSON *et al.*, 2014; SIEMIENIUCH *et al.*, 2015). O processo da MA pode ser sintetizado em oito etapas conforme apresentado na Figura 11 (GIBSON *et al.*, 2014).

4.5.1 Manufatura Aditiva na área têxtil

Uma pesquisa realizada em 2013 entre fabricantes de equipamentos têxteis e tecidos, evidenciou que para 98,6% dos entrevistados a flexibilidade do negócio é um parâmetro fundamental para o sucesso na área têxtil (MICHALOS *et al.*, 2018). Alcançar a flexibilidade mencionada será um grande desafio para a indústria do vestuário, cujos produtos têm um ciclo de vida curto, as demandas sofrem grandes flutuações e os clientes cada vez mais buscam originalidade e identidade naquilo que consomem (STRAUB, 2017; SIMONIS *et al.*, 2017). Assim, a crescente busca do consumidor por melhores produtos ou serviços, percorre características que vão além dos conceitos tradicionais de qualidade e bom preço. Além destes, critérios de sustentabilidade e customização passaram a integrar seus desejos (SCHWAB, 2017; ARRIBAS *et al.*, 2018; SABANTINA *et al.*, 2015).

Neste contexto, a MA se destaca, pois, em sua concepção, a tecnologia desempenha papel central na produção, reduzindo a distância existente entre os princípios da manufatura em massa e a personalização (SCHWAB, 2017)

O interesse em torno da impressão 3D no universo têxtil tem aumentado consideravelmente, com propostas de aplicação da tecnologia em artigos convencionais ou inovadores, como os chamados têxteis inteligentes (produtos que apresentam a capacidade de mudar suas características e propriedades ao serem expostos a estímulos externos) (LEIST, 2017). Verifica-se na literatura a construção destes artigos inteligentes por meio da impressão 3D, onde a partir da técnica FDM (Modelagem de Deposição Fundida), filamentos termoplásticos são depositados sequencialmente sobre um substrato têxtil convencional, construindo um objeto 3D que, devido ao polímero usado na sua construção, apresenta a capacidade de mudar de forma quando exposto a determinada temperatura, produzindo materiais com memória de forma (LEIST, 2017).

No vestuário já é possível assistir desfiles onde modelos usam acessórios ou vestuários completos produzidos a partir da MA (SCHWAB, 2017; CELASCHI, 2017; ARRIBAS *et al.*, 2018). No entanto, apesar dos desenvolvimentos supracitados, a maioria destes artigos apresentam características de apresentarem um aspecto rígido sobre o corpo, faltando-lhes a flexibilidade proporcionada pelos têxteis convencionais. Com o objetivo de suprir esta dificuldade, pesquisas vêm sendo desenvolvidas, conforme explicitado a seguir:

- **Malhas 3D:** novos modelos de teares de malharia circular e retilínea utilizam um princípio de construção de produto similar a impressão 3D, onde através de um *software* específico, pode-se processar um arquivo digital, controlando e direcionando o processo de programação e execução do equipamento. Portanto, o mecanismo de seleção individual de agulhas ou alimentadores é empregado, permitindo construir um artigo personalizado em tamanho, cor, estampa e formato (SIMONIS *et al.*, 2017).
- **Aplicação 3D sobre um substrato têxtil:** a partir da técnica de impressão de FDM, os filamentos depositados, depois de solidificados, formam a estrutura 3D impressa, sendo utilizados como decoração no vestuário (SABANTINA, 2015).
- **Impressão de estruturas a partir da tecnologia de malharia por trama:** com base na sinterização seletiva, o polímero em pó é fundido, a seguir solidifica-se, dando forma a objetos tridimensionais com características similares aos têxteis tradicionais, apresentando boas propriedades mecânicas e de alongamento, que os habilitam a aplicações têxteis (BEERCROFT, 2016).

4.5.2 Vantagens

A tecnologia da MA, quando aplicada na área têxtil, pode trazer benefícios a clientes e fornecedores. Dentre eles, destacam-se (SABANTINA, 2015; SIMONIS, 2017; SCHWAB, 2017; ANWAR *et al.*, 2018; LEIST, 2017; BEERCROFT, 2016; CELASCHI, 2017; ARRIBAS *et al.*, 2018; SIEMIENIUCH, *et al.*, 2015; VAN KREVELEN *et al.*, 2010):

- Redução do tempo existente entre desenvolvimento e produção dos produtos;
- Ensaio virtual de projetos em *softwares*, reduzindo desperdícios de matéria-prima;
- Fabricação limpa e compacta, que possibilita instalação de estruturas produtivas em grandes centros urbanos;
- Redução de custos de distribuição e tempo de entrega;
- Redução drástica de estoque de materiais e produtos.

4.5.3 Desafios

A tecnologia da MA enfrenta alguns desafios para sua expansão na cadeia têxtil. Dentre eles, se destacam (ANWAR *et al.*, 2018; VAN KREVELEN *et al.*, 2010):

- Duração do processo de impressão;
- Possível redução de empregos nas estruturas convencionais de produção;
- Controle sobre a qualidade dos produtos que são impressos e a reprodução não autorizada.

4.6 REALIDADE AUMENTADA

A Realidade Aumentada (AR) pode ser definida como uma tecnologia de interação homem-máquina que aprimora o mundo real através da sobreposição de objetos virtuais gerados por computador, visualizados pelo usuário com apoio de algum dispositivo tecnológico (como capacete com visão ótica, óculos com visão de câmera de vídeo, *smartphone*, *tablet*, entre outros) (MOURTZIS *et al.*, 2014; ONG *et al.*, 2008; PEREIRA, 2017).

Os sistemas que integram a tecnologia de AR são normalmente caracterizados pelo tipo de dispositivo que utilizam, categorizando-se em (FRAGA-LAMAS *et al.*, 2018):

- Sistema de visão ótica direta: utiliza como dispositivo de visualização de AR um capacete ou óculos, que recebe em suas lentes a informação, ou a imagem virtual, adaptando-as ao ambiente real imediatamente. Um exemplo é o Google Glass, com *software* e *hardware* semelhante a um celular android, que grava conversas e vídeos, armazena informações e responde a comandos de voz ou toque de dedos, fotografa e conecta-se à internet;
- Sistema de visão direta por vídeo: composto por um capacete com no mínimo duas microcâmeras que captam a imagem do ambiente real e fornecem ao usuário uma réplica "aumentada", visualizada pelo usuário através de um monitor;
- Sistema de visão por vídeo baseado em monitor: câmeras de vídeo disponíveis em celulares, tablets ou computadores que captam a imagem real, e por intermédio de recursos computacionais combinam-se com objetos virtuais, permitindo a visualização da imagem "aumentada" na tela. Estes elementos virtuais são produzidos através de marcadores fiduciais, que são semelhantes a um código de barras, trazendo informação, localização e orientação aos objetos;

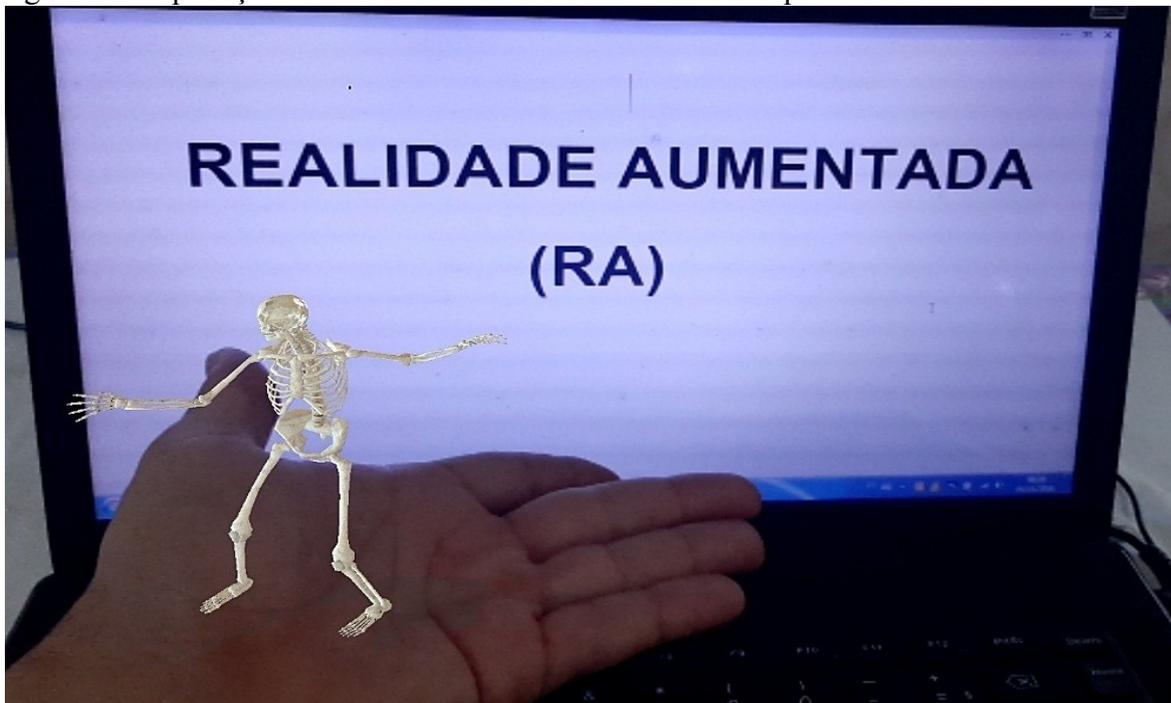
- Visão ótica por projeção: imagens ou objetos virtuais são projetados em superfícies planas em diferentes escalas. Não é necessário qualquer tipo de equipamento para visualização das projeções, porém, esse sistema não proporciona interação com o ambiente, a não ser que haja dispositivos de entrada.

Em síntese a tecnologia de AR permite (MOURTZIS, DOUKAS e BERNIDAKI, 2014):

- Sobrepor e ou combinar objetos reais e virtuais em um ambiente real;
- Atuar interativamente em 3D e em tempo real, oferecendo aos usuários uma noção de profundidade, distância, posição e tamanho dos objetos.

Uma representação das possibilidades supracitadas é apresentada na Figura 12.

Figura 12 - Aplicação de AR através de um sistema de visão por vídeo baseado em monitor.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A AR é considerada uma evolução da tecnologia de Realidade Virtual (VR). A diferença é que na VR a tecnologia transporta o usuário para o ambiente virtual, permitindo as interações no mesmo. Já a tecnologia de AR mantém o usuário no seu ambiente físico e transporta o ambiente virtual para o espaço do usuário, onde as interações ocorrem (KIRNER E TORI, 2006; ONG, YUAN e NEE, 2008).

Para que a interação entre os elementos virtuais com o mundo real aconteça de forma satisfatória, o sistema de AR deve ser capaz de sentir o ambiente, bem como acompanhar os movimentos do espectador (MOURTZIS, DOUKAS e BERNIDAKI, 2014).

Sendo assim, as experiências de AR tendem a ser mais proveitosas em ambientes internos, já que os dispositivos de rastreamento não precisam ser completamente móveis, vestíveis ou ainda lidar com variações de luminosidade, clima ou espaço (KIRNER E TORI, 2006; PEREIRA, 2017). Isso torna sua utilização de fácil operabilidade em processos industriais, contribuindo por aumentar a produtividade e aliviar a carga de trabalho mental sobre os colaboradores, proporcionando uma atuação interativa com os processos de manufatura (MOURTZIS, DOUKAS e BERNIDAKI, 2014).

Algumas das áreas e oportunidade de aplicação da AR na indústria são (PEREIRA, 2017; FRAGA-LAMAS *et al*, 2018; KERPEN *et al*, 2016):

- Serviços manuais, atividades de inspeção e verificações, suporte remoto especializado;
- Manufatura e controle de qualidade, instruções para trabalho de manutenção e montagem, relatórios de desempenho interativos;
- Vendas e marketing por intermédio de experiências interativas de prova de produto pelo cliente;
- Desenvolvimento de produto, inspeção e ensaios de protótipos digitais;
- Posto operacional, controles digitais dos produtos, procedimentos operacionais, interações com produtos ou imagens virtuais;
- Treinamento específico e disponível no posto de trabalho, treinamento ergonômico e de segurança.

4.6.1 Realidade Aumentada na área têxtil

Atualmente, a necessidade de eliminar qualquer atividade que não agregue valor ao produto final tem levado as empresas a entrar na corrida da produção tecnológica proporcionada pela Indústria 4.0 (SCHWAB, 2017; SAGGIOMO *et al*, 2016). Para o setor têxtil, o desenvolvimento da Indústria 4.0 é baseado principalmente em máquinas modernas de produção, sistemas e ambientes de trabalho digitais. Neste contexto, a AR propõe novas formas

de atuação para o desenvolvimento de produto, produção e comércio. Algumas oportunidades de aplicação da AR na área têxtil são:

- Desenvolvimento do produto: utilizando recurso de AR, pode-se, durante o desenvolvimento, planejar e simular o processo de produção e utilização do produto, permitindo ajustes rápidos em suas especificações, bem como revisar conceitos e opiniões ainda na fase inicial do projeto (KOHN *et al.*, 2018; KOLBERG *et al.*, 2015);
- Treinamento operacional: a utilização de AR para fins de treinamento nos processos de fabricação têxtil facilita a aprendizagem dos operadores, uma vez que o recurso de AR está incorporado no mesmo contexto em que a tarefa de trabalho é executada. Além disso, torna a atividade mais interativa, realista e segura quando comparada a métodos convencionais de treinamento (KOLBERG *et al.*, 2015; SAGGIOMO *et al.*, 2016);
- Recurso de apoio à manufatura: na manufatura têxtil, um sistema de assistência virtual baseada em AR pode atuar como apoio nas estações de trabalho, fornecer informações visuais ao colaborador, incluindo especificidades da tarefa (sequência de execução, posicionamento de peças, tempo de duração) ou a localização de objetos, com suas respectivas descrições e funcionalidades (SAGGIOMO *et al.*, 2016; KRITZINGER *et al.*, 2018);
- Novos modelos de comércio e varejo: recursos de AR integrados a aplicativos de celulares e outras tecnologias móveis apresentam grandes oportunidades para o segmento (BRUNO, 2016). Em um exemplo de aplicação, o cliente faz o *download* em seu *smartphone* de um aplicativo de AR (exemplo *wanna kics*), escolhe um produto e aponta a câmera para o local que deseja posicionar o produto virtual. Na sequência tem na tela do seu *smartphone* uma experiência de AR com o produto escolhido (SCHWAB, 2017).

4.6.2 Vantagens

A implementação de sistemas de AR em ambientes de trabalho da indústria têxtil pode alterar positivamente os processos, produtos e métodos de treinamento em todos os níveis. Dentre os principais benefícios podem-se destacar (SCHWAB, 2017; KOLBERG *et al.*, 2015; SAGGIOMO *et al.*, 2016; KRITZINGER *et al.*, 2018):

- Criação de novos modelos de negócios, tornando-os mais eficientes e sustentáveis;

- Desenvolvimento de novos modelos de trabalho e a criação de modelos interativos de treinamento operacional, obtendo-se melhores condições nos postos de trabalho, facilitando o acesso às informações e tornado as tarefas operacionais menos monótonas;
- Ensaios e correções do produto em sua versão virtual, contribuindo para um processo de desenvolvimento menos poluente e mais barato;
- Possibilidade de os clientes terem experiências de uso interativas e virtuais.

4.6.3 Desafios

Os sistemas de AR enfrentam alguns desafios para sua expansão na cadeia têxtil. Dentre eles, podem-se citar (KOHN *et al.*, 2018; KRITZINGER *et al.*, 2018):

- Familiarização dos operadores com a tecnologia;
- Custo de implementação da tecnologia;
- Equipe técnica com conhecimento para desenvolver aplicações personalizadas usando a tecnologia de AR.

4.7 SIMULAÇÃO (PROTOTIPAGEM VIRTUAL)

A simulação pode ser definida em um ambiente industrial como uma imitação virtual do processo, produto ou sistema de produção, gerada por computador a partir de seu respectivo modelo matemático, incluindo etapas de fabricação, materiais utilizados, produtos, equipamentos e até pessoas (KIRNER *et al.*, 2006; TILBURY, 2019; RÜßMANN *et al.*, 2015).

Esta tecnologia teve suas primeiras aplicações na área industrial nos anos 60, sendo usada com maior frequência em análises de otimização, principalmente em modelos matemáticos e estatísticos (KIRNER *et al.*, 2006; SPAHIU *et al.*, 2014).

Ao categorizar os tipos existentes de simulação na indústria, deve-se considerar três dimensões: momento da mudança; aleatoriedade; e organização dos dados. Onde as simulações se classificam em (KIRNER *et al.*, 2006; MOKTADIR *et al.*, 2018):

- Tempo: estática (independe do tempo) ou dinâmica (dividindo-se em discreta ou contínua – evoluem de maneira diferente com o tempo);
- Aleatoriedade: determinística (repetindo a mesma simulação posteriormente obtêm-se a mesma resposta); ou estocástica (repetindo a mesma simulação nem sempre se tem a mesma resposta);

- Organização dos dados: esses classificam-se em com grade (dados associados a células e locais específicos) e sem grade (dados associados livremente).

Alguns exemplos de utilização na indústria referem-se à simulação de eventos discretos, relacionadas às tomadas de decisão sobre capacidade, planejamento e programação; e simulação de processos contínuos, relacionados a movimentos de robôs, transportadores autoguiados e máquinas de usinagem (MOKTADIR *et al.*, 2018).

As simulações propostas são normalmente desenvolvidas com apoio de ferramentas computacionais, *softwares* de simulação, dentre elas destacam-se: *MATLAB/Simulink*, *Stateflow*, *SimEvents*, *Simscape Multibody* (MOKTADIR *et al.*, 2018).

As principais ferramentas e áreas de utilização da tecnologia de simulação na indústria são (MOURTZIS, 2019):

- *Computer Aided Design (CAD)/Computer Aided Manufacturing (CAM)*: a integração entre estas ferramentas permite executar simulações de design, desempenho e do processo produtivo, ainda na etapa de desenvolvimento do produto;
- *Digital Mockup (DMU)*: consiste em modelos 3D gerados por computador, que integram e simulam a estrutura mecânica de um sistema ou objeto em um protótipo virtual, reduzindo assim o tempo de desenvolvimento, permitindo executá-lo de maneira colaborativa;
- Simulação do fluxo do material: consiste em simular virtualmente o fluxo de material em um ambiente de fabricação ou de valor dentro de uma fábrica, buscando otimizar e coordenar as movimentações;
- Simulação da produção: consiste em simular sequencialmente, através de *softwares*, cada etapa do processo de fabricação, visando reduzir tempos e custos associados aos processos de desenvolvimento, bem como, simular diferentes cenários produtivos para tomadas de decisão;
- Simulação de *layout*: constitui-se de um modelo virtual 3D da fábrica para simular diferentes disposições de máquinas, equipamentos, pessoas e recursos, visando a melhor configuração para o processo produtivo que se deseja executar;
- Simulação de ergonomia: consiste em usar *softwares* que simulam as relações entre homem, máquina e o ambiente de trabalho, visando proporcionar segurança e eficiência em suas interações;

- Simulação da cadeia de suprimentos: consiste em simular e otimizar as operações existentes em uma cadeia de processos de agregação de valor, desde as matérias-primas iniciais até o consumo final do produto, incluindo as interações da fábrica com fornecedores, parceiros e clientes;
- Simulação híbrida: possibilita simulação de eventos complexos na indústria que apresentam simultaneamente comportamento de eventos discretos e contínuos. Alguns exemplos são movimentações de robôs bípedes ou simulações de produção.

Outra aplicação da tecnologia de simulação que tem se destacado e é característica da Indústria 4.0 é o gêmeo digital (*digital twin*) ou sombra digital (*digital shadow*). Trata-se de uma representação virtual de uma planta industrial completa, podendo executar diferentes módulos de simulação, sincronizando o sistema virtual com a realidade e vice-versa, através de dados coletados em tempo real (MATTHEWS *et al.*, 2017; KIRNER e TORI, 2006).

Verifica-se, portanto, que a simulação tem se desenvolvido continuamente e ganhado cada vez mais adeptos no cenário industrial, tornando-se uma das tecnologias base para implementação do conceito de Indústria 4.0 (SABANTINA *et al.*, 2015; RÜßMANN *et al.*, 2015; MOURTZIS, 2019).

4.7.1 Simulação na área têxtil e de confecção

Impulsionada pelos avanços computacionais e de outras tecnologias da manufatura digital (IoT, CPS, *Big Data*, AR, VR) simulações em 2D e 3D são cada vez mais utilizadas como ferramentas de experimentação e validação de projetos, configuração de produtos, processos e sistemas, sendo utilizadas em diferentes áreas da indústria (KIRNER *et al.*, 2006; TILBURY, 2019; RÜßMANN *et al.*, 2015; MOURTZIS, 2019).

Na área têxtil, a tecnologia tem sido utilizada por áreas que vão desde o desenvolvimento de produto, manufatura até o varejo (XIA *et al.*, 2012; GONZALEZ *et al.*, 2010; SCHWAB, 2017). Alguns exemplos de aplicação na área têxtil são:

- Comercialização de produtos pela internet: a simulação tem papel fundamental no comércio de produtos têxteis pela internet, cujo qual vem evoluindo à medida que as simulações se tornam mais realistas (SCHWAB, 2017);
- Manutenção: a tecnologia permite projetar o impacto causado em máquinas e estruturas têxteis ao simular variações de parâmetros de processo (velocidade, pressão, temperatura) e com base nisso, programar manutenções preventivas e preditivas. Outro

benefício é o processamento de dados durante diferentes estágios do ciclo de vida de maquinários e equipamentos, obtendo-se resultados assertivos sobre as condições e capacidades produtivas (SABANTINA *et al.*, 2015);

- Desenvolvimento de produtos: a utilização de *softwares* de design e modelagem em 3D torna possível criar um protótipo virtual do produto têxtil, simulando com fidelidade seu aspecto, caimento, movimentos e aplicação. Portanto, podem-se avaliar possíveis falhas ou necessidades de alterações sem que um modelo físico tenha que ser construído, resultando em ganho de tempo do processo, redução de custos, aumento de variedades desenvolvidas e economia de materiais (SABANTINA *et al.*, 2015; VOLINO, CORDIER *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2016);
- Planejamento, Programação e Controle do Processo (PPCP): a aplicação da tecnologia de simulação permite reproduzir virtualmente diferentes cenários produtivos, e com base nisso, escolher por aquele que melhor atenda aos objetivos da fábrica (entrega, custo, produtividade) (COLOMBO *et al.*, 2014; SABANTINA *et al.*, 2015);
- Planejamento de layout: a aplicação da tecnologia de simulação permite implementar um modelo virtual da fábrica 3D, considerando disposição das máquinas, equipamentos e a interação das pessoas no processo produtivo, bem como avaliar a eficiência de diferentes cenários e configurações. Um exemplo da aplicação citada na área têxtil é o setor de confecção, onde através da utilização de *softwares*, pode-se simular a linha de produção e dimensionar o número de profissionais e espaço requerido para o processo (DE FREITAS *et al.*, 2019; SCHLAEPFER *et al.*, 2015).

4.7.2 Vantagens

A utilização da tecnologia da simulação na indústria têxtil permite testar e otimizar os processos ou produtos antes de colocá-los em operação na fábrica, proporcionando muitos benefícios, dentre os quais destacam-se (COLOMBO *et al.*, 2014; SCHWAB, 2017; SABANTINA *et al.*, 2015; VOLINO, CORDIER e MAGNENAT *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2016; DE FREITAS *et al.*, 2019; SCHLAEPFER *et al.*, 2015):

- Redução das taxas de geração de resíduo e falhas;
- Redução dos tempos relacionados ao processo de desenvolvimento de produto;
- Melhoria na qualidade dos produtos;
- Aumento da eficiência produtiva e a utilização eficaz dos recursos disponíveis;

- Melhores informações e análises para tomadas de decisões;
- Possibilidade de os clientes terem experiências de uso interativos e virtuais.

4.7.3 Desafios

A tecnologia da simulação enfrenta alguns desafios para sua expansão na cadeia têxtil e de confecção. Dentre eles, podem-se citar (SABANTINA *et al.*, 2015; KIRNER *et al.*, 2006; SPAHIU *et al.*, 2014);

- Custos relativos à aquisição de softwares e ferramentas computacionais;
- Desenvolvimento de conhecimento técnico para implementação;
- Dificuldade na virtualização e simulação de sistemas sensoriais;
- Integração dos dados dos diferentes sistemas indústrias.

4.8 INTEGRAÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL DE SISTEMAS

No conceito proposto pela Indústria 4.0, os sistemas de informação que integram a cadeia de valor e suprimentos devem atuar de maneira integrada, vertical e horizontalmente, trocando informações, desencadeando ações e controles ao longo da cadeia. Dentre os sistemas, destacam-se: *Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)*; *Manufacturing Execution System (MES)*; *Enterprise Resource Planning (ERP)*; *Computer Integrated Manufacturing (CIM)*; CAD; CAM; *Supply Chain Management (SCM)*; *Product Lifecycle Management (PLM)*; *Customer Relationship Management (CRM)* (COLOMBO *et al.*, 2014; TAO *et al.*, 2018, BRESSANELLI *et al.*, 2018).

A integração vertical é concentrada no ambiente interno da fábrica, sendo fundamentada nos sistemas CPS (que contemplam sensores e equipamentos), onde dados referentes a materiais, recursos, máquinas e processos estão completamente integrados e em rede (ERBOZ, 2017). Por consequência, as fábricas que possuem este tipo de integração apresentam uma visão sistêmica de seus processos, o que permite reagir rapidamente a mudanças. O monitoramento e a gestão são realizados com base em informações obtidas em tempo real (CARMONA *et al.*, 2016).

A integração horizontal baseia-se na construção de redes globais externas à fábrica, onde cada participante da cadeia de valor e suprimentos coopera e interage em tempo real por

meio de plataformas ou *softwares* compartilhados (ERBOZ, 2017; DA XU, 2011). Consequentemente, informações e dados são partilhados, permitindo um elevado nível de flexibilidade em resposta a variações de demanda, alterações no produto ou processo (CARMONA *et al.*, 2016; DA XU, 2011).

Os setores de desenvolvimento de produto, suprimentos, engenharia, produção, *marketing*, vendas e logística fazem parte desta cadeia horizontal integrada, incluindo fornecedores, parceiros e clientes (MOURTZIS, 2019; CARMONA *et al.*, 2016; DA XU, 2011). Apesar das diferenças existentes nos dois processos de integração, o objetivo em ambos é o mesmo: transformar os dados gerados na indústria ao longo dos processos em informações que promovam a criação de uma cadeia de valor e fornecimento integrada e automatizada (CARMONA *et al.*, 2016).

As indústrias que desejarem iniciar o processo de integração dos sistemas podem utilizar como base para sua implementação o modelo proposto *Reference Architectural Model Industrie 4.0* (RAMI 4.0). Ele consiste em um modelo geral que norteia a integração dos sistemas, padronizando sua estrutura de comunicação e linguagem, nas quais sistemas, tecnologias e dispositivos inteligentes são organizados hierarquicamente em camadas ao longo da cadeia de valor (SCHWEICHHART, 2016; CHEN, 2019).

4.8.1 Integração de sistemas na área têxtil

Um número crescente de empresas, em diferentes áreas, tem buscado soluções integradas de sistemas de informação para administrar seus negócios (TAO *et al.*, 2018). Na área têxtil verifica-se a mesma tendência. O seu futuro envolve a adoção de sistemas integrados de informação para gestão da cadeia de manufatura e suprimentos, incluindo etapas de previsão, pesquisa de consumo, desenvolvimento de produto, merchandising, sourcing, produção, varejo e distribuição (SCHWAB, 2017; I-SCOOP, 2017).

Um processo de integração de sistemas de informação na indústria têxtil tem como base a implementação de um ERP, que consiste em um *software* que ajuda na administração das empresas capturando, armazenando e provendo informação sobre todas as suas atividades, sendo estas informações a base para integração dos sistemas (COLOMBO *et al.*, 2014; TAO *et al.*, 2018).

As principais funções de um ERP são a gestão dos recursos financeiros, dos pedidos dos clientes, dos recursos produtivos e da manufatura, da cadeia de suprimentos e recursos humanos (AYDOS, 2019).

Os ERP se diferenciam pelo seu nível de integração, sendo dividido em dois grandes grupos: ERP e ERP II (COLOMBO *et al.*, 2014; TAO *et al.*, 2018). O primeiro consiste na integração das operações de uma empresa dentro e através de seus negócios. O ERP II, além disso, vai além do nível da empresa para trocar informações com clientes e parceiros da cadeia de suprimentos. Entretanto, ressalta-se que apenas a implementação de um ERP na organização não garantirá a integração vertical e horizontal. É necessário o auxílio de outros sistemas de informação com os quais o ERP irá se comunicar por meio da integração de dados utilizando bancos e plataformas em comum (TAO *et al.*, 2018).

As principais integrações necessárias para a verticalização e horizontalização dos sistemas de informação na indústria têxtil são (LEE *et al.*, 2018; SURJIT *et al.*, 2016; I-CHEN, 2019):

- Integração dos sistemas operacionais dos equipamentos têxteis com sistema ERP: permite a captura de dados em tempo real, proporcionando informações atualizadas e fundamentais para gestão eficiente do processo. Um exemplo é o *ERP Texpert*, desenvolvido na Índia pela empresa *Premier Evolvics Pvt.* Este sistema promove aquisição *online* de dados das máquinas de uma empresa de fiação, propiciando aos gestores previsões assertivas de produção e alertas em tempo real sobre a variação dos padrões de qualidade;
- Integração dos sistemas CRM e ERP de uma empresa têxtil: o CRM é um sistema de gestão utilizado para coletar dados provenientes dos clientes com objetivo de elevar as vendas e criar uma relação de fidelidade com os mesmos. A integração entre os sistemas CRM e ERP propõe como benefícios: aumento das vendas, redução das despesas, melhora no serviço de atendimento dos clientes, melhor previsibilidade e capacidade de ajuste no planejamento com base na demanda de vendas atual;
- Integração entre as ferramentas de *Business Intelligence* (BI) e sistema ERP de uma empresa têxtil: as ferramentas de BI utilizam os dados disponíveis nos sistemas ERP realizando seu processamento e análise online, proporcionando como principal benefício para as empresas têxteis a construção dos chamados “painéis de bordo”, que referem-se a relatórios de rápido acesso com indicadores para avaliação do desempenho da operação em apenas uma tela;
- Integração entre os sistemas PLM e ERP de uma empresa têxtil: o PLM é um sistema usado para gerir de maneira sistemática o ciclo de vida de um produto. Assim, o PLM se encarrega de fazer a gestão do processo de desenvolvimento e ciclo de vida dos

produtos, enquanto o ERP faz a gestão da manufatura, com dados compartilhados em ambos os sistemas. Conseqüentemente, se otimiza os processos de desenvolvimento de produto e o planejamento;

- Integração entre os sistemas SCM e ERP de uma empresa têxtil: o SCM é um sistema de gestão do fluxo financeiro, de informação e materiais ao longo da cadeia de suprimentos, incluindo relações com fornecedores e outros parceiros de negócio. Quando integrado ao sistema ERP, acessa automaticamente todos os dados necessários para sua atuação, propondo como grande benefício, melhorar a visibilidade dos processos da cadeia de suprimentos.

A integração vertical e horizontal de uma indústria têxtil e de confecção tem como base o fluxo de informações entre os processos componentes de sua cadeia de valor, onde a partir da utilização de tecnologias digitais, *softwares e hardwares* fazem a coleta, transmissão, análise e gestão das informações (CARMONA *et al.*, 2016; HANKEL *et al.*, 2015)

Algumas soluções e tecnologias disponíveis para uma empresa têxtil que pretenda iniciar o processo de integração vertical (COLOMBO *et al.*, 2014; CARMONA *et al.*, 2016; HANKEL *et al.*, 2015; DA XU, 2011):

- Dispositivos de coleta de dados (sensores e atuadores);
- Dispositivo de processamento de dados (CLP);
- Sistemas de aquisição de dados, controle e supervisão do processo de produção (SCADA);
- Sistemas de planejamento e gerenciamento da produção (MES e MRP);
- Sistema que realize a gestão dos recursos em toda fábrica (ERP);
- Sistema que realize a gestão do ciclo de vida do produto (PLM).

Algumas soluções e tecnologias disponíveis para uma empresa têxtil que pretende iniciar o processo de integração horizontal são:

- Sistema que faça a gestão dos recursos internos e externos (ERP II);
- Sistema que execute a gestão das informações provenientes de fornecedores e parceiros (SCM), clientes e do mercado (CRM);
- Sistema que faça a gestão do ciclo de vida do produto (PLM).

4.8.2 Vantagens

A integração horizontal e vertical de todos os sistemas de informação é considerada uma das principais etapas para as empresas têxteis e de confecção no processo de implementação da Indústria 4.0, onde apoiada pelas tecnologias de IoT, *Big Data*, computação em nuvem, RFID e sensores, criam-se cadeias de valor flexíveis e eficientes (ERBOZ, 2017; DA XU, 2011).

Outras vantagens propostas pela integração dos sistemas são (COLOMBO *et al.*, 2014; SCHWAB, 2017; JAIN *et al.*, 2017; DA XU, 2011; WANG *ET AL.*, 2018; I-SCOOP, 2017):

- Desenvolvimento de marcas, produtos e serviços personalizados de maneira colaborativa, envolvendo fornecedores, distribuidores e clientes;
- Melhora do processo de gestão produtiva e da cadeia de suprimentos;
- Aumento da eficiência e redução de custos nos processos de planejamento, desenvolvimento, produção, vendas e distribuição;
- Aquisição de um grande volume de dados de toda cadeia de valor em tempo real, permitindo melhor planejamento e controle do processo, bem como ajustes pontuais com base no cenário real.

4.8.3 Desafios

A integração horizontal e vertical de todos os sistemas na cadeia de valor têxtil é um grande desafio, considerando que envolvem diferentes sistemas (normalmente desenvolvidos separadamente) e usuários. Dentre os principais obstáculos, destacam-se (COLOMBO *et al.*, 2014; JAIN *et al.*, 2017; SCHWEICHHART, 2016; CHEN, 2019; TAO *et al.*, 2018; I-SCOOP, 2017):

- Padronização e sistematização dos processos de coleta, armazenamento e processamento de dados;
- Muitos integrantes (fornecedores e parceiros) da cadeia de suprimentos não possuem estrutura para implementação da integração de sistemas e dados;
- Garantia da privacidade e segurança sobre as informações compartilhadas;
- Elevados investimentos em sistemas de informação e infraestrutura quando relacionados a pequenas e médias empresas.

4.9 CIBERSEGURANÇA

A cibersegurança pode ser definida como uma tecnologia que emprega um conjunto de ferramentas, políticas e ações com objetivo de proteger dados, informações, serviços e sistemas de uma organização das ameaças cibernéticas (MOURTZIS, 2019; GOES, 2019; LIU, XIAO, LIANG *et al.*, 2012). Devido à expansão industrial das tecnologias digitais de manufatura e o aumento considerável de objetos e usuários conectados à internet, verifica-se um aumento das ameaças digitais (RÜßMANN *et al.*, 2015).

Dentre os principais tipos de problemas de segurança cibernética existentes na internet, destacam-se (LEE *et al.*, 2017):

- *Phishing*: mascarar-se como um site conhecido para obter informações pessoais dos usuários;
- Falsificação: consiste em declarações falsas sobre bens ou serviços ou entrega de produtos falsificados;
- Fraude: enganar usuários, levando-os a investir dinheiro ou serem cúmplices de crimes digitais;
- Negação de serviços: bloquear intencionalmente um site ou serviço específico da internet para impedir ou dificultar atividades comerciais;
- Perda de controle: ocorre a invasão do computador que passa a ser controlado pelo invasor;
- Extravio de dados: perda de propriedade intelectual ou de outra informação relevante.

Algumas técnicas e práticas de cibersegurança sugeridas para indústria são apresentadas no Quadro 1 (GOES, 2019).

Quadro 1 - Técnicas e mecanismos de cibersegurança.

Técnica	Objetivo	Descrição
Encriptação	Privacidade	Permite o controle de acesso, analisando quais os utilizadores e aplicações podem acessar determinados dados a partir de sua criptografia
Assinaturas e certificados digitais	Autenticação de mensagens	Mecanismo que utiliza a técnica de criptografia a partir de chaves únicas
Firewalls	Integridade do local	Gestão do tráfego digital existente na rede de uma organização, aplicando uma política de segurança que descarta ou restringe o acesso a pacotes que não atendam as normas estabelecidas
Intrusion detection systems (IDS)	Integridade do local	Atua como uma segurança extra e mesmo que a firewall detecte o ataque, o serviço de IDS notifica o administrador do local em que ocorreu um problema
Content analysis	Integridade do local	Método de análise dos conteúdos recebidos e enviados na rede, realizando verificações em ficheiros ou pacotes inteiros. Técnica muito utilizada pelos <i>softwares</i> de segurança instalados em computadores
(Virtual Private Network) VPN	Privacidade dos dados	Técnica representa uma rede de comunicações privada construída sobre uma rede de comunicação pública. Utiliza-se da encriptação para fornecer um acesso seguro a intranet de uma organização a partir de locais remotos.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

4.9.1 Vantagens

As vantagens propostas pela implementação da cibersegurança em uma indústria têxtil, incluem (SCHWAB, 2017; KUMAR *et al.*, 2014 MOURTZIS, 2019; GOES, 2019; LEE *et al.*, 2017):

- Privacidade de informações e proteção da propriedade intelectual;
- Integridade dos dados e bom funcionamento de sistemas de manufatura digital;
- Disponibilidade e funcionamento correto dos serviços digitais utilizados para criar, produzir ou comercializar produtos têxteis.

4.9.2 Desafios

As empresas têxteis que desejarem implementar a tecnologia de cibersegurança em seus processos enfrentarão alguns desafios. Dentre eles, destacam-se (LIU *et al.*, 2012; LEE, 2017):

- Desenvolvimento contínuo de técnicas de monitoramento e proteção da informação, dados e sistemas;
- Investimentos em tecnologia de *software* e *hardware*;
- Criação de uma cultura que envolva todos os colaboradores da organização, promovendo seu comprometimento com as normas de segurança e políticas adotadas.

4.10 A ADOÇÃO DAS TECNOLOGIAS EMERGENTES DA INDÚSTRIA 4.0 NA ÁREA TÊXTIL

A análise bibliométrica dos documentos encontrados nas plataformas *Scopus* e *Web of Science* com os termos: “*Industry 4.0*” ou “*Industrie 4.0*” e “*textile*” através do *software* SciMAT, permitiu a construção de um estado da arte que apresenta resultados e informações, cujos quais, respondem algumas questões expostas nos objetivos da dissertação.

O Brasil posiciona-se na 71ª posição (em um grupo de 141 países) quando avaliado em relação aos principais indicadores de competitividade global na indústria 4.0.

A área de pesquisa composta pelos temas “Indústria 4.0” e “Têxtil” apresenta um crescimento substancial no número de publicações, com 74 documentos publicados entre 2016-2017 (P2) e 195 entre 2018-2019.

A área têxtil apresenta um baixo índice de adoção das tecnologias emergentes (29%), principalmente quando a comparada com outras áreas da indústria, tais como setores de produtos eletrônicos (61%), máquinas e equipamentos (53%) (CNI, 2016).

Uma das possíveis justificativa para este atraso na adoção é o fato do setor não ter como uma de suas principais características a demanda por inovação em seus produtos, diferentemente de outros setores indústrias, onde as inovações tecnológicas são o principal fator para competitividade. Outro fator relevante, é que a indústria têxtil utiliza em sua produção processos discretos, os quais tendem a introduzir inovações tecnológicas de forma segmentada, descontínua e parcial. (CNI, 2020).

Outras informações substanciais extraídas do estado da arte são apresentadas na Figura 13.

Figura 13 - Tecnologias emergentes da Indústria 4.0 na área têxtil.

INDÚSTRIA 4.0

PROCESSOS DE PRODUÇÃO E GESTÃO NA ÁREA TÊXTIL

Tecnologias mais utilizadas

IOT, sensores, rastreadores (RFID, QR code) atuadores, robótica, simulação e integração vertical e horizontal dos sistemas.

Objetivos

Automatização, rastreabilidade e controle dos processos.

Tecnologias menos utilizadas

RA, MA e cibersegurança.

Motivo

Menor impacto, quando comparada as demais tecnologias em relação ao aumento de produtividade e redução de custos.

PRODUTOS TÊXTEIS

Tecnologias mais utilizadas

IOT, RFID, sensores, atuadores e RA.

Objetivos

Conectividade, interatividade, rastreabilidade e monitoramento.

Tecnologias menos utilizadas

Robótica.

Motivo

Tecnologia não apresenta confortabilidade.

NOVOS MODELOS DE NEGÓCIO NA ÁREA TÊXTIL

Tecnologias mais utilizadas

IOT, computação em nuvem, big data, robótica, MA, RA, integração vertical e horizontal dos sistemas, simulação e cibersegurança.

Tecnologias menos utilizadas

Nenhuma.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A contribuição principal deste trabalho é a construção inédita de um instrumento de diagnóstico da maturidade das tecnologias da indústria 4.0 adaptado para o setor têxtil e de confecção, construído com base nos trabalhos encontrados na literatura. Neste capítulo a ferramenta desenvolvida será apresentada.

5.1 DIMENSÕES DO QUESTIONÁRIO

Para estruturação do instrumento investigativo, verificou-se critérios e modelos de questionários já validados em outros setores industriais, bem como, a definição das dimensões analisadas.

O questionário escolhido como modelo base, foi proposto pela *IMPULS – Industrie 4.0 Readiness* (LICHTBLAU *et al.*, 2015), desenvolvido pela Associação Alemã de Fabricação de Máquinas e Instalações Industriais (VDMA).

Para a preparação do questionário, consideraram-se cinco dimensões (SCHUH *et al.*, 2017; CNI, 2020):

- Dimensão 1 – Demografia: o objetivo é conhecer as percepções dos participantes em relação à Indústria 4.0 de acordo com sua função, setor de atuação, nível de escolaridade, área de formação e idade.
- Dimensão 2 – Tecnologias: o conceito de Indústria 4.0 é caracterizado fundamentalmente pela implementação de inovações tecnológicas no ambiente fabril. O objetivo desta dimensão é identificar como as nove tecnologias emergentes da Indústria 4.0 são utilizadas entre os diferentes setores de uma fábrica e quais apresentam maior aderência na área de atuação do participante.
- Dimensão 3 – Estratégia: na área têxtil e de confecção, a adoção das inovações propostas pelo conceito de Indústria 4.0 encontra-se ainda em estágio inicial, necessitando de investimentos em equipamentos, tecnologias e capacitação técnica. Portanto, as questões desta dimensão têm como objetivo verificar se o projeto de implementação da Indústria 4.0 está alinhado ao planejamento estratégico da empresa.
- Dimensão 4 – Habilidades digitais: os colaboradores serão os mais afetados pela digitalização do trabalho. Novas habilidades e qualificações serão necessárias para atuarem neste modelo inovador de indústria. Nesse sentido, as questões desta dimensão

buscam identificar o nível de conhecimento das pessoas da empresa sobre temas relacionados a tecnologias digitais utilizadas no processo de manufatura.

- Dimensão 5 – Benefícios da implementação: as questões desta dimensão têm como objetivo verificar se os benefícios propostos pela implementação da Indústria 4.0 são percebidos na empresa participante deste processo de avaliação.

5.2 NÍVEIS AVALIATIVOS DE MATURIDADE E ESTÁGIO REFERENCIAL DE IMPLEMENTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0.

O nível de maturidade dos conceitos e das tecnologias emergentes é uma forma de quantificar e classificar o estágio de desenvolvimento da Indústria 4.0 em determinada área ou empresa. Estes níveis permitirão que o respondente possa avaliar numericamente cada questão.

A descrição teórica destes níveis foi elaborada de acordo com as informações contidas nos documentos *IMPULS – Industrie 4.0 Readiness* (LICHTBLAU *et al.*, 2015) e o Guia de Avaliação de Maturidade da Indústria 4.0 da ACATECH. (SCHUH *et al.*, 2017).

Para quantificar os resultados foi estabelecida uma escala em ordem crescente na qual o nível “0” indica a inexistência da Indústria 4.0 e o nível “4” indica a maior maturidade possível do conceito na área investigada.

A descrição dos níveis de maturidade pode ser visualizada no Quadro 2.

Quadro 2 - Nível de maturidade da Indústria 4.0.

Nível	Descrição
0 - Inexistente	Inexistente ou sem potencial de aplicação, todas as atividades são executadas manualmente, não existe nem informatização nem automatização dos processos.
1 - Informatização	Planejamento e desenvolvimento de projetos iniciais para Indústria 4.0; existe algumas atividades automatizadas e os processos são informatizados, mas não conectados.
2 - Conectividade	Projetos iniciais de Indústria 4.0 implementados, benefícios já são observados; a maioria das atividades são automatizadas e os processos são informatizados e conectados com áreas específicas.
3 - Previsibilidade	Projetos de Indústria 4.0 implementados, benefícios e retorno econômicos já são observados; atividades automatizadas e os processos são informatizados e conectados com todas as áreas específicas de seu contexto de atuação, obtendo seus respectivos dados em tempo real, permitindo simular diversos cenários para tomada de decisão.
4 - Adaptabilidade	Projetos maduros e sólidos; benefícios e retornos econômicos são claros, atividades automatizadas e os processos são informatizados e conectados com toda a fábrica, informações referentes ao produto e o processo são obtidas em tempo real, permitindo simular diversos cenários para tomada de decisão, onde os dispositivos são capazes de trocar autonomamente as informações, desencadeando ações e controles de forma independente.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Para verificar o posicionamento da empresa investigada em relação as demais do setor têxtil e de confecção, o nível de maturidade será classificado em 5 grupos que consideram o nível 4 de maturidade como referencial máximo no processo de implementação da indústria 4.0, ou seja 100 % implementada (LICHTBLAU *et al.*, 2015; SCHUH *et al.*, 2017):

- Leigos (0% - 20%): neste grupo as empresas não apresentam nenhum desenvolvimento evidente nas dimensões necessária para implementação da Indústria 4.0, sendo o conceito e as tecnologias desconhecidas e/ou irrelevante para suas atividades.
- Iniciantes (21% - 40%): neste grupo as empresas possuem iniciativas piloto sobre a implementação dos conceitos de Indústria 4.0 em algumas de suas áreas, com pequenos investimentos. Poucos processos são automatizados, e nestes, máquinas e equipamentos precisam ser atualizados para que possam promover a integração dos sistemas de informação e coleta de dados. As habilidades e conhecimentos necessários para a expansão da indústria 4.0 dentro da estrutura estão concentradas em algumas pessoas e os benefícios propostos ainda não são observados.

- Intermediários (41% - 60%): neste grupo as empresas começam a incorporar a implementação da Indústria 4.0 em seu planejamento estratégico, as iniciativas são bem definidas e existem investimentos expressivos em algumas áreas. Os principais processos de manufatura são automatizados, porém a infraestrutura das outras áreas não atende os requisitos para expansão futura. Algumas informações produtivas são coletadas automaticamente, sendo usados de forma limitada. Os sistemas de informação são integrados em algumas áreas e as informações entre elas são compartilhadas; soluções sobre cibersegurança já estão em andamento. As habilidades e conhecimentos necessários para a expansão da indústria 4.0 dentro da estrutura estão concentradas em áreas específicas e alguns dos benefícios propostos já são observados.
- Avançados (61% - 80%): neste grupo, as empresas possuem iniciativas e projetos de implementação da indústria 4.0 na maioria das áreas relevantes. Os investimentos são expressivos e acompanhados por uma comissão que avalia os resultados através de indicadores. Os processos são na maioria das áreas automatizados e integrados, onde informações são coletadas automaticamente e compartilhadas com toda empresa. Existe um compartilhamento parcial das informações da empresa com seus fornecedores e prestadores de serviço. Soluções para segurança digital já estão implementadas. As habilidades e conhecimentos necessários para a expansão da Indústria 4.0 dentro de sua estrutura já estão difundidas em várias áreas da empresa. Os benefícios propostos já são observados.
- Especialistas (81% - 100%): neste grupo, as empresas possuem iniciativas e projetos de implementação da Indústria 4.0 em todas áreas relevantes, os investimentos são expressivos e acompanhados por uma comissão que avalia os resultados através de indicadores. Os processos são automatizados, integrados e autônomos, onde informações são coletadas automaticamente e compartilhadas com toda empresa, inclusive com seus fornecedores, prestadores de serviço e clientes. Soluções para segurança digital já estão implementadas em todas áreas. Novos modelos de negócios, com base na oferta de serviços estão sendo desenvolvidos. As habilidades e conhecimentos necessários para a expansão da Indústria 4.0 já estão difundidas em todas áreas da empresa. Os benefícios propostos são claramente observados e o capital investido no projeto de implementação está parcialmente recuperado.

A seguir são apresentadas as questões formuladas para cada uma das 5 dimensões estratificadas no questionário (Anexo I).

5.3 QUESTÕES DO QUESTIONÁRIO

A Figura 14 resume a quantidade de questões por categoria no questionário, totalizando 49 questões.

Figura 14 – Número de questões por dimensão.

Dimensão	Descrição	Número de questões
1	Demografia	5
2	Tecnologias	28
3	Estratégia	4
4	Habilidades Digitais	5
5	Benefícios da implementação	7
Total de questões		49

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

5.3.1 Dimensão 1 – Demografia

As questões de 1 a 5 são referentes à uma análise demográfica.

1) Qual sua área de atuação? (Somente uma opção de resposta)

Desenvolvimento de Produto	Marketing	Modelagem
Engenharia de Produto	Engenharia de Decoração	Engenharia de Processos
Sala de Malhas	Corte	Estamparia
Bordado	Costura	Controle de Qualidade
Dobração	Expedição	Distribuição
Suprimentos/ Almoxarifado	PCP	Manutenção
Tecnologia de Informação	Gestão de Pessoas	Outra, qual?

2) Qual sua função atual?

Coordenador	Supervisor	Analista/ Técnico	Outra
-------------	------------	-------------------	-------

3) Qual a sua idade?

18 – 28 anos	29 – 30 anos	40 – 50 anos
51 – 60 anos	Igual ou superior a 61 anos	

4) Qual o seu grau de escolaridade?

1º grau completo	2º grau completo	Superior completo
Superior incompleto	Pós-graduação	Outra, qual?

5) Qual sua área de formação acadêmica?

Ciências administrativas e de negócios	Ciências exatas e tecnológicas	Ciências biológicas e da saúde
Ciências Humanas e sociais	Não se aplica	Outra, qual?

5.3.2 Dimensão 2 – Tecnologias

As questões apresentadas na sequência, de 6 a 33, são relacionadas às tecnologias e recursos que integram o conceito de Indústria 4.0.

As respostas das questões apresentadas a seguir deverão ser respondidas em uma escala crescente de 0 a 4.

- 6) Internet das coisas compreende a rede de equipamentos, sensores e ou dispositivos móveis conectados à internet que compartilham dados e informações. Qual o nível de implementação desta tecnologia em sua área de atuação?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

- 7) Ainda sobre o tema internet das coisas, em sua área de atuação, equipamentos/sistemas estão conectados e podem ser controlados pela rede?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

* Onde 4 corresponde que todos equipamentos e sistemas podem ser controlados remotamente e 0 nenhum.

- 8) Em sua área de atuação, existe comunicação entre as máquinas (M2M) e outros dispositivos computacionais (sensores, atuadores), permitindo que estes interajam entre si?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

* Onde 4 corresponde que todos equipamentos se comunicam entre si e com a fábrica de maneira autônoma e 0 que não existe nenhuma comunicação entre os equipamentos.

- 9) Em sua área de atuação, utilizam-se tecnologias de rastreamento (RFID, sensores) para obter em tempo real informações sobre o produto, o processo ou o cliente?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

* Onde 4 corresponde a utilização de tecnologias de rastreamento para todos os tipos de controles e apontamentos produtivos e 0 nenhuma utilização.

10) Em sua área de atuação, ocorre a integração e colaboração entre máquinas/sistemas locais com os equipamentos de outros setores da empresa?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

* Onde 4 corresponde a integração total dos sistemas locais com a fábrica e 0 nenhuma integração.

11) Em sua área de atuação, alguns dos equipamentos, produtos ou serviços oferecem recursos de monitoramento remoto?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

* Onde 4 corresponde a total monitoramento remoto dos equipamentos, produtos ou serviços e 0 nenhum.

12) A computação em nuvem refere-se a recursos computacionais de armazenamento de arquivos, equipamentos virtuais, banco de dados, redes e *softwares* acessados remotamente através da internet. Qual o nível de utilização desta tecnologia em sua área de atuação?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

13) Em sua área de atuação, os sistemas e *softwares* usados para gestão e produção do seu setor podem ser acessados remotamente através da internet?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

* Onde 4 corresponde a todos sistemas e softwares usados estão disponíveis para acesso remoto e 0 nenhum

14) Em sua área de atuação, os serviços e recursos computacionais oferecidos promovem a conectividade e interoperabilidade entre os equipamentos do seu setor e demais sistemas/equipamentos da fábrica?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

* Onde 4 corresponde a total integração e comunicação dos equipamentos e sistemas locais com a fábrica e 0 nenhuma.

15) Em sua área de atuação, os serviços e recursos computacionais oferecidos são flexíveis e ajustáveis de acordo com a demanda?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

* Onde 4 corresponde a total disponibilidade em reduzir ou aumentar o serviço contratado de armazenamento de arquivos, equipamentos virtuais, banco de dados, redes e softwares e 0 nenhuma disponibilidade.

16) Big Data refere-se à coleta, armazenamento, processamento e análise de um grande conjunto dados, de diferentes fontes e formatos, com objetivo de fornecer informações úteis para tornar a gestão dos processos mais eficiente e inteligente. Qual nível de implementação desta tecnologia em sua área de atuação?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

17) Em sua área de atuação, a coleta de dados (estoque, tempo do processo, percentual de 2º qualidade, eficiência ou taxa de ocupação) é realizada de maneira automática?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

* Onde 4 corresponde que toda coleta de dados é realizada de maneira automática e 0 que toda coleta de dados é realizada manualmente.

18) Em sua área de atuação, os dados coletados são processados e transformados em informações que permitem oferecer produtos ou serviços personalizados?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

* Onde 4 corresponde que todos os dados coletados são transformados em informações específicas para gestão do processo, melhoria do produto ou atendimento do cliente e 0 que nenhum dado coletado é utilizado desta maneira.

19) Em sua área de atuação, os dados coletados ao longo da cadeia de valor são processados e transformados em informações que auxiliam no processo de tomada de decisão?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

* Onde 4 corresponde que as informações obtidas através da coleta de dados permitem simular diversos cenários para tomada de decisão e 0 que os dados coletados não auxiliam no processo de tomada de decisão.

20) Robôs colaborativos referem-se a equipamentos com sensores de percepção de movimento, desenvolvidos para auxiliar ou executar tarefas normalmente atribuídas a seres humanos. Qual nível de implementação desta tecnologia em sua área de atuação?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

**Onde 4 corresponde a tarefas complexas, realizadas automaticamente sem a supervisão do indivíduo, 1 representa a execução de tarefas simples, operadas ou supervisionadas por uma pessoa e 0 corresponde a nenhuma utilização da robótica.*

21) Em sua área de atuação, tarefas são executadas através da utilização de robôs*?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

**Onde 4 corresponde a tarefas complexas, realizadas automaticamente sem a supervisão do indivíduo, 1 representa a execução de tarefas simples, operadas ou supervisionadas por uma pessoa e 0 corresponde a nenhuma utilização da robótica.*

22) A impressão 3D (Manufatura Aditiva) refere-se a modelos físicos desenvolvidos por intermédio da impressão de dados, que podem ser produtos completos ou partes deles, provenientes de um modelo virtual, sendo fabricados diretamente por meio da impressão. Qual nível de implementação desta tecnologia em sua área de atuação*?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

**Onde 4 corresponde a impressão do produto completo, 1 corresponde à impressão de partes de um produto ou máquina e 0 corresponde a nenhuma utilização de impressão 3D.*

23) A tecnologia de Realidade Aumentada permite sobrepor e/ou combinar objetos reais e virtuais em um ambiente real, oferecendo aos usuários uma percepção de profundidade, distância, posição e tamanho dos objetos. Qual o nível de implementação desta tecnologia em sua área de atuação*?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

** Onde 4 corresponde ao desenvolvimento de produtos, serviços, produção e treinamento, 1 corresponde a um recurso interativo em produtos ou propaganda e 0 corresponde a nenhuma utilização de Realidade Aumentada.*

24) A simulação refere-se à virtualização do processo, produto ou sistema de produção, gerada por computador, incluindo etapas de fabricação, materiais utilizados, produtos, máquinas, movimentos e até pessoas. Qual o nível de implementação desta tecnologia em sua área de atuação?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

25) Em sua área de atuação, a tecnologia de simulação é utilizada para desenvolver um protótipo virtual de um produto, simulando, por exemplo, design, modelagem, movimentos e aplicação?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

* Onde 4 corresponde a total desenvolvimento e análise de produto por meio de simulações virtuais e 0 nenhuma tecnologia de simulação virtual utilizada.

26) Em sua área de atuação, a tecnologia de simulação é utilizada para simular cada etapa de seu processo, permitindo visualizar diferentes cenários para tomadas de decisão?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

* Onde 4 corresponde a simulação virtual de todas etapas do seu processo, permitindo simular diversos cenários para tomada de decisão e 0 nenhuma simulação realizada.

27) A tecnologia de simulação é utilizada para criar uma cópia virtual de seu processo, sincronizando o sistema teórico com a realidade e vice-versa, através de dados coletados em tempo real?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

* Onde 4 corresponde a criação de uma cópia virtual do processo, simulando em tempo real todas as atividades realizadas e 0 a nenhuma utilização da tecnologia de simulação nos processos produtivos.

28) A integração vertical dos sistemas de informação refere-se a conexão dos sistemas internos de informação, (ERP, MES, CAD, SCADA, PLM)**, onde dados referentes a recursos, máquinas e processos estão completamente integrados, proporcionando uma visão sistêmica e atuação coordenada dos processos na empresa. Qual o nível de implantação desta tecnologia em sua área de atuação?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

* Onde 4 corresponde a total integração com os sistemas de informação internos da fábrica e 0 a nenhuma integração.

**ERP – Planejamento dos Recursos da Empresa; MES - Sistema de Execução da Manufatura; CAD - Desenvolvimento e criação assistido por computador; SCADA – Sistemas de Coleta e Aquisição de Dados; PLM – Gestão do Ciclo de vida do Produto.

29) A integração horizontal dos sistemas de informação refere-se à conexão de sistemas de informação externos à fábrica (SCM, CRM, PLM)**, onde informações e dados referentes a cadeia de valor podem ser compartilhados, promovendo colaboração entre a fábrica, fornecedores e clientes. Qual o nível de implementação desta tecnologia em sua área de atuação?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

* Onde 4 corresponde a total integração com os sistemas de informação externos a fábrica e 0 a nenhuma integração.

** SCM – Gestão da Cadeia de Suprimentos; CRM – Gestão do Relacionamento com os Clientes; PLM – Gestão do Ciclo de vida do Produto.

30) A tecnologia de cibersegurança emprega um conjunto de ferramentas, técnicas, políticas e ações com objetivo de proteger dados, informações, serviços e sistemas de uma organização das ameaças cibernéticas. Qual o nível de introdução desta tecnologia em sua área de atuação?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

31) Em sua área de atuação, qual o nível de concretização de soluções que visam a segurança dos dados armazenados internamente ou na nuvem?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

* Onde 4 corresponde a mecanismos efetivos de controle de acesso e proteção da rede garantindo total segurança dos dados armazenados e 0 a nenhuma segurança.

32) Em sua área de atuação, qual o nível de implementação de soluções que visam garantir a integridade, autenticidade e privacidade dos dados compartilhados dentro e fora da empresa?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

* Onde 4 corresponde a implementação de firewalls, assinaturas digitais, encriptação e redes privadas e 0 a nenhuma técnica implementada que garanta a segurança dos dados.

33) Em sua área de atuação, qual o nível de implementação de soluções que visam garantir a disponibilidade e o funcionamento correto dos serviços digitais utilizados através da internet para criar, produzir ou comercializar produtos?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

* Onde 4 corresponde a implementação de firewalls, assinaturas digitais, encriptação e redes privadas e 0 a nenhuma técnica implementada que garanta a segurança dos serviços digitais.

5.3.3 Dimensão 3 – Estratégia

As questões apresentadas a seguir, de 34 a 38, referem-se à inserção da Indústria 4.0 no planejamento estratégico da empresa.

- 34)** Na sua percepção, quão próximos do conceito da Indústria 4.0 estão os processos em sua área de atuação?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

- 35)** Assinale quais destes processos em sua área de atuação introduziram tecnologias da Indústria 4.0 e em que nível de maturidade se encontram?

	Investimento nos últimos 5 anos				
	Nível 0	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Pesquisa e desenvolvimento de produto					
Produção					
Logística e suprimentos de materiais					
Gestão e controle do processo					
Segurança das informações					
Comércio de produtos					

- 36)** Em sua área de atuação, existe a intenção de se investir nas áreas apresentadas a seguir, nos próximos 5 anos, visando caminhar na direção da implementação da Indústria 4.0? Em caso afirmativo, assinale um ou mais das áreas específicas e assinale qual o nível de investimento projetado.

	Investimento nos próximos 5 anos sobre os lucros				
	Nenhum	Até 5%	5 a 10%	10 a 15%	>15%
	0	1	2	3	4
Pesquisa e desenvolvimento de produto					
Produção					
Logística e suprimentos de materiais					
Gestão e controle do processo					
Segurança das informações					
Comércio de produtos					

37) Em sua área de atuação, qual o nível de acompanhamento sobre o progresso dos projetos de implementação da Indústria 4.0 implantados*?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

* Onde 4 refere-se à existência de cronogramas de implementação e investimentos, avaliações do retorno do capital investido e indicadores de desempenho e 0 a nenhum acompanhamento efetivo sobre os projetos em andamento.

5.3.4 Dimensão 4 – Habilidades Digitais

As questões de 38 a 42 apresentadas na sequência, buscam verificar o nível de conhecimento dos colaboradores em relação à Indústria 4.0, bem como suas respectivas tecnologias componentes.

38) Qual seu nível de conhecimento sobre o tema Indústria 4.0*?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

*Onde 4 corresponde a total clareza sobre tecnologias componentes, oportunidades, benefícios e desafios.

39) Qual o nível de suas habilidades e conhecimentos quando se trata da utilização de recursos de infraestrutura em Tecnologia de Informação, como *hardware*, *software*, configurações de rede, acesso remoto e virtual?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

*Onde 4 corresponde a total clareza sobre tecnologias componentes, oportunidades, benefícios e desafios e 0 nenhum conhecimento.

40) A automação industrial refere-se à utilização de sistemas eletrônicos, como sensores e atuadores, para que os equipamentos executem e controlem o processo de produção automaticamente. Qual seu nível de conhecimento sobre o tema?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

*Onde 4 corresponde a total clareza sobre tecnologias componentes, oportunidades, benefícios e desafios e 0 nenhum conhecimento.

41) Como você avalia suas habilidades e conhecimentos quando se trata da utilização de tecnologias e ferramentas de processamento e análise de dados, como *Business Intelligence* e *Big Data*?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

*Onde 4 corresponde a total clareza sobre tecnologias componentes, oportunidades, benefícios e desafios e 0 nenhum conhecimento.

42) Qual o nível de suas habilidades quando se trata da utilização de tecnologias e ferramentas voltadas à segurança e proteção de dados e informações (criptação, *firewall*, certificados e assinaturas digitais)?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

**Onde 4 corresponde a total clareza sobre tecnologias componentes, oportunidades, benefícios e desafios e 0 nenhum conhecimento.*

5.3.5 Dimensão 5 – Benefícios da Implementação do Conceito de Indústria 4.0

As questões de 43 a 49, apresentadas na sequência, buscam verificar o nível de desenvolvimento dos benefícios propostos pela implementação do conceito de Indústria 4.0 nas empresas diagnosticadas por este instrumento de verificação.

43) Os benefícios propostos pela Indústria 4.0 são: personalização em massa, flexibilidade, tomadas de decisão com base em dados atualizados, maior produtividade, novos modelos de negócios e o equilíbrio entre a vida pessoal e o trabalho. Qual nível observado dos benefícios propostos em sua empresa?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

**Onde 4 corresponde a projetos maduros e sólidos; benefícios e retornos econômicos são claros e mensuráveis e 0 nenhum benefício proposto é observado.*

44) A “Personalização em massa” refere-se a atender os requisitos individuais de cada cliente, produzindo itens únicos de acordo com seus desejos, sem que a lucratividade do processo seja afetada. Qual nível de desenvolvimento deste benefício em sua empresa?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

**Onde 4 que todos os produtos produzidos são desenvolvidos ou podem ser adaptados segundo critérios e características estabelecidos pelo cliente e 0 que nenhum produto produzido é desenvolvido ou pode ser adaptado segundo critérios e características estabelecidos pelo cliente.*

45) A Flexibilidade das linhas de produção proposta pela Indústria 4.0 é baseada nos Sistemas Ciberfísicos de Produção (CPS), onde, uma rede global conecta processos, máquinas e dispositivos de uma indústria, permitindo-a responder rapidamente às variações de demanda, alterações no produto ou processo. Qual nível de desenvolvimento deste benefício em sua empresa?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

**Onde 4 corresponde a uma fábrica totalmente inteligente, que percebe e prevê mudanças na demanda, nos produtos e nos processos ajustando-se autonomamente e 0 corresponde a nenhuma flexibilidade, os processos são estáticos e imutáveis.*

46) A implementação do conceito de Indústria 4.0 possibilita Tomadas de decisão otimizadas, tanto no contexto da fabricação quanto dos negócios, baseadas em dados provenientes de todas as etapas da cadeia de valor, em tempo real. Qual nível de desenvolvimento deste benefício em sua empresa?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

**Onde 4 corresponde a tomadas decisão baseadas em dados coletados ao longo de todo processo em tempo real e 0 corresponde a tomadas decisão baseadas em nenhuma informação ou informação desatualizada do processo.*

47) Produtividade e eficiência na utilização dos recursos são características resultantes da maturidade das tecnologias digitais de manufatura, componentes da Indústria 4.0, que permitem a otimização dos processos de produção por intermédio da automação, padronização e integração tecnológica. Qual nível de desenvolvimento destes benefícios em sua empresa?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

**Onde 4 corresponde a ganhos claros e expressivos em produtividade ou em economia de recursos através da maturidade das tecnologias digitais de manufatura e 0 corresponde a nenhum ganho de produtividade ou economia de recursos após a maturidade das tecnologias digitais de manufatura.*

48) A Indústria 4.0, como um dos seus principais benefícios, traz a possibilidade da criação de novos modelos de negócios, baseados na oferta de serviços mediante utilização de plataformas e outras tecnologias digitais. Qual nível de desenvolvimento deste benefício em sua empresa?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

**Onde 4 corresponde a uma fábrica onde seu principal produto são os serviços oferecidos aos clientes através de plataformas digitais e 0 corresponde a nenhum tipo de serviço oferecido como produto aos clientes.*

49) O Equilíbrio entre o trabalho e o bem estar dos funcionários é também um dos benefícios propostos no conceito de Indústria 4.0, onde seu modelo de produção é principalmente fundamentado no uso da tecnologia, permitindo a flexibilização do trabalho, de modo a atender às necessidades e restrições dos funcionários. Qual nível de desenvolvimento deste benefício em sua empresa?

	0		1		2		3		4
--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

**Onde 4 corresponde a produção completamente autônoma, onde os colaboradores são apenas desenvolvedores e analista de otimização nos processos produtivos e 0 corresponde a nenhuma mudança em relação autonomia produtiva, toda produção depende exclusivamente da presença física e atuação dos colaboradores.*

5.4 MÉTODOLOGIA DE APLICAÇÃO DO INSTRUMENTO DE DIAGNÓSTICO

Antes da aplicação efetiva do instrumento de diagnóstico desenvolvido, procedeu-se com um ensaio prévio para análise e melhoria do modelo elaborado, onde foram selecionados 7 profissionais que o responderam, sendo: três engenheiros têxteis, dois engenheiros de produção e dois engenheiros químicos. Foi explicado a cada participante os objetivos e importância da pesquisa, concedendo um prazo de sete dias para o preenchimento e devolução do instrumento

Após a entrega dos questionários respondidos, realizou-se uma entrevista com cada participante, visando colher possíveis contribuições dos mesmos no aprimoramento do instrumento de diagnóstico, como melhoria da redação de questões para torná-las mais acessíveis ao público alvo.

Na escolha da empresa para aplicação do instrumento de diagnóstico desenvolvido, considerou dois critérios: representatividade da empresa no setor e na região; diversidade de processos desenvolvidos em sua cadeia produtiva.

Desta forma, a empresa escolhida está localizada no município de Guaramirim, no Norte Catarinense, possui 40 anos de atividade no segmento têxtil e destaca-se na confecção de artigos de vestuário, possuindo marcas próprias de moda infantil e adulta, produzindo anualmente cerca de 23 milhões de peças.

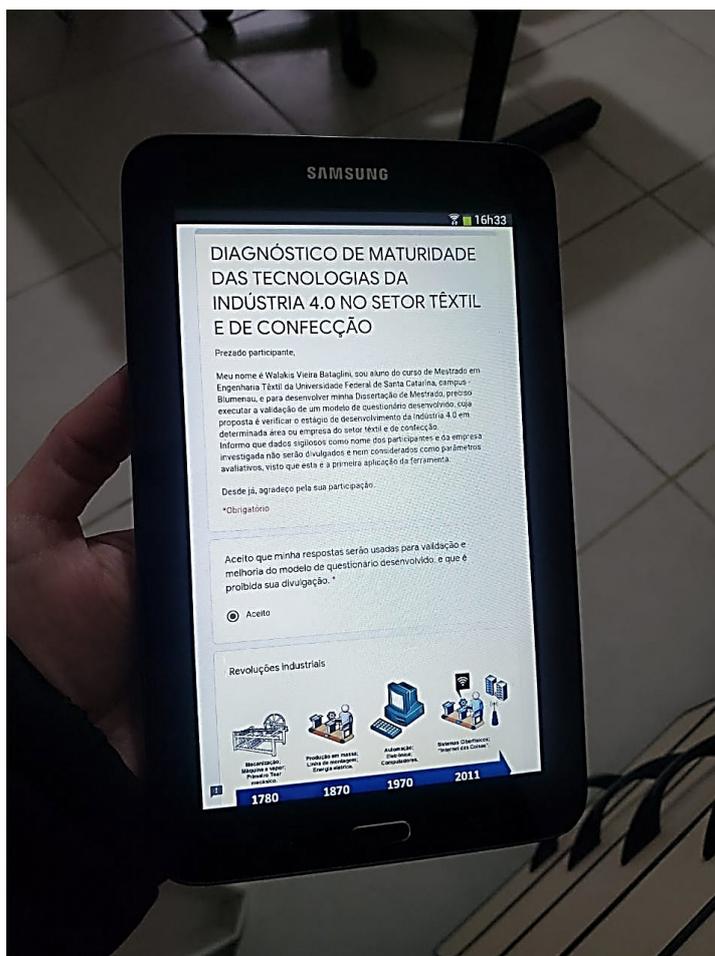
Os 72 participantes selecionados para a aplicação do questionário na empresa são colaboradores que atuam nos níveis técnicos/analistas, coordenadores e supervisores, nos diferentes setores: Desenvolvimento de Produto; Modelagem; Engenharia de Produto; Engenharia de Decoração (setor responsável pela viabilidade técnica e cálculos de custo de aviamentos, entre outros acessórios decorativos); Engenharia de Processos (setor relacionado aos programas de melhoria contínua e inovação); Sala de Malhas; Corte; Estamparia; Bordado; Costura; Controle de Qualidade; Dobração; Expedição; Distribuição; Planejamento e Controle de Produção (PCP); Suprimentos/Almoxarifado; Manutenção; Tecnologia de Informação; e Gestão de Pessoas.

A aplicação do questionário (Anexo I) aconteceu entre os dias 05 e 12 de maio de 2021, estando o mesmo disponível na plataforma *Google Forms*, através do link: docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSelugdJnnFC6ht8wuZo6wvmzqj5bp5gDvX0wtPFGW2qij0WYw/viewform.

Um vídeo introdutório, foi desenvolvido e disponibilizado também no formulário, por intermédio de um link direto no *Youtube*: <https://www.youtube.com/watch?v=Gfn9TBfCKvE>.

O envio do questionário aos respondentes foi realizado via *WhatsApp*, sendo o mesmo respondido através do uso de celulares, computadores e *tablets*, conforme ilustrado na Figura 15.

Figura 15 – Modelo virtual do questionário.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Após a aplicação, foi realizado no dia 26 de maio de 2021 um encontro para análise do modelo de questionário e avaliação dos resultados obtidos, no qual estiveram presentes os gestores da empresa participante: Gerente Industrial, Gerente de PCP e Logística, Gerente de Desenvolvimento de Produto, Gerente de Gestão de Pessoas e Diretor do Negócio Vestuário.

A cada um dos gestores foi entregue um relatório com o diagnóstico das tecnologias 4.0 e das dimensões de cada uma das 19 áreas participante.

5.5 RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO INSTRUMENTO

Foi obtido um total de 72 respostas a partir da aplicação do instrumento desenvolvido para diagnóstico de maturidade das tecnologias da indústria 4.0 no setor têxtil e de confecção na empresa selecionada para o teste piloto. Após a aplicação do questionário, uma apresentação dos resultados foi realizada para gestores da empresa, onde as principais contribuições e sugestões recebidas para melhoria do modelo desenvolvido foram:

- O modelo foi considerado, de uma forma geral, objetivo, prático e completo, apresentando questões claras e de fácil interpretação;
- Na questão “qual é sua área de atuação?” Foi sugerido ordenar as áreas por ordem alfabética;
- O termo “robô colaborativo”, dificultou a interpretação da questão 20. “As pessoas pensavam no modelo Humanóide, esqueceram de olhar as máquinas robotizadas” foi sugerido substituir o termo;
- Os respondentes levaram de 30 a 50 minutos para concluir o questionário, para uma abordagem mais direcionada, a sugestão foi dividir o questionário em duas partes, onde em uma parte abordaria só a dimensão tecnologias e em outra as dimensões: estratégia, habilidades e benefícios;
- Alguns conceitos e tecnologias são complexos e dependendo do nível hierárquico aplicado a interpretação das questões pode ser comprometida “Alguns colaboradores disseram que tiveram de ver o vídeo 2 vezes para conseguir responder”.

Os resultados provenientes da aplicação do instrumento desenvolvido para diagnóstico da maturidade das tecnologias da indústria 4.0 no setor têxtil e de confecção também foram avaliados pelos gestores da empresa.

Os relatórios a seguir apresentados são uma síntese dos resultados globais da empresa, obtidos através de uma média aritmética das 72 respostas recebidas, onde os valores são apresentados com precisão decimal variando de 0 a 4, segundo os critérios de mensuração contidos na seção 5.2.

5.5.1 Radar global das tecnologias da Indústria 4.0

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para cada uma das questões contidas na dimensão Tecnologias, bem como uma média aritmética da dimensão.

Tabela 1 – Dimensão: Tecnologias.

(continua)

Dimensão	Questão	Nível
Tecnologias	6) Internet das coisas: qual o nível de implementação desta tecnologia em sua área de atuação?	2,46
	7) Em sua área de atuação, equipamentos/sistemas estão conectados e podem ser controlados pela rede?	2,65
	8) Em sua área de atuação, existe comunicação entre as máquinas (M2M) e outros dispositivos computacionais (sensores, atuadores), permitindo que estes interajam entre si?	1,65
	9) Em sua área de atuação, utilizam-se tecnologias de rastreamento (RFID, sensores) para obter em tempo real informações sobre o produto, o processo ou o cliente?	1,48
	10) Em sua área de atuação, ocorre a integração e colaboração entre máquinas/sistemas locais com os equipamentos de outros setores da empresa?	2,34
	11) Em sua área de atuação, alguns dos equipamentos, produtos ou serviços oferecem recursos de monitoramento remoto?	2,25
	12) Computação em nuvem: qual o nível de utilização desta tecnologia em sua área de atuação?	2,37
	13) Em sua área de atuação, os sistemas e softwares usados para gestão e produção do seu setor podem ser acessados remotamente através da internet?	2,68
	14) Em sua área de atuação, os serviços e recursos computacionais oferecidos promovem a conectividade e interoperabilidade entre os equipamentos do seu setor e demais sistemas/equipamentos da fábrica?	2,03
	15) Em sua área de atuação, os serviços e recursos computacionais oferecidos são flexíveis e ajustáveis de acordo com a demanda?	2,07
	16) <i>Big Data</i> : qual nível de implementação desta tecnologia em sua área de atuação?	2,17

Tabela 1 - Dimensão: Tecnologias.

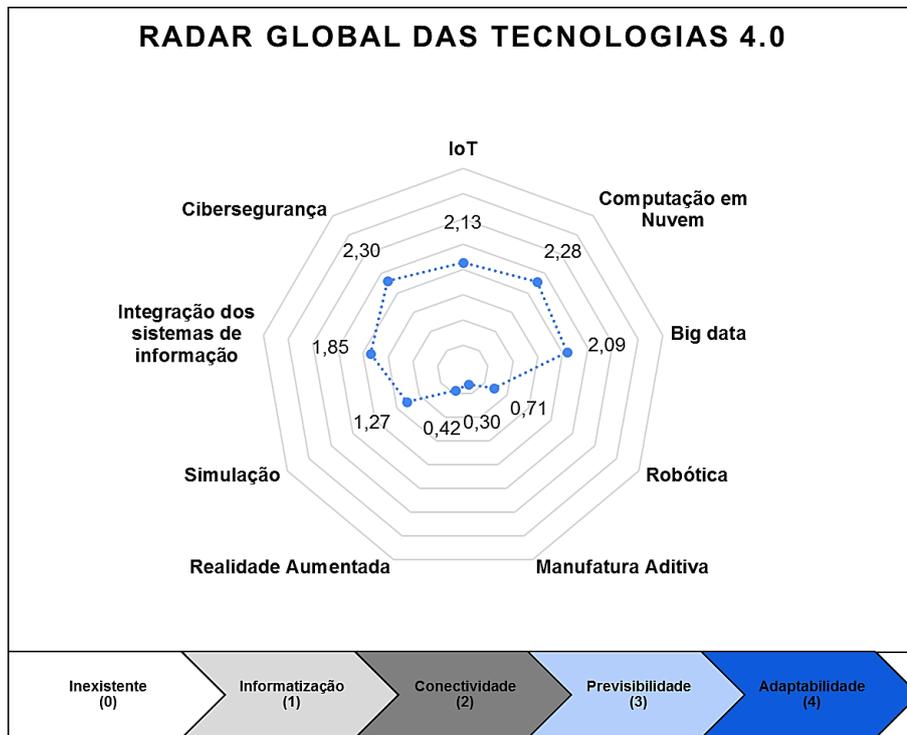
(conclusão)

Dimensão	Questão	Nível
Tecnologias	17) Em sua área de atuação, a coleta de dados (estoque, tempo do processo, percentual de 2º qualidade, eficiência ou taxa de ocupação) é realizada de maneira automática?	1,74
	18) Em sua área de atuação, os dados coletados são processados e transformados em informações que permitem oferecer produtos ou serviços personalizados?	2,07
	19) Em sua área de atuação, os dados coletados ao longo da cadeia de valor são processados e transformados em informações que auxiliam no processo de tomada de decisão?	2,41
	20) Robôs colaborativos: qual nível de implementação desta tecnologia em sua área de atuação?	0,94
	21) Em sua área de atuação, tarefas são executadas através da utilização de robôs?	0,49
	22) A impressão 3D: qual nível de implementação desta tecnologia em sua área de atuação?	0,30
	23) Realidade Aumentada: qual o nível de implementação desta tecnologia em sua área de atuação?	0,42
	24) Simulação: qual o nível de implementação desta tecnologia em sua área de atuação?	1,58
	25) Em sua área de atuação, a tecnologia de simulação é utilizada para desenvolver um protótipo virtual de um produto, simulando, por exemplo, design, modelagem, movimentos e aplicação?	1,28
	26) Em sua área de atuação, a tecnologia de simulação é utilizada para simular cada etapa de seu processo, permitindo visualizar diferentes cenários para tomadas de decisão?	1,25
	27) A tecnologia de simulação é utilizada para criar uma cópia virtual de seu processo, sincronizando o sistema teórico com a realidade e vice-versa, através de dados coletados em tempo real?	0,98
	28) Integração vertical dos sistemas de informação: qual o nível de implantação desta tecnologia em sua área de atuação?	1,92
	29) Integração horizontal dos sistemas de informação: qual o nível de implementação desta tecnologia em sua área de atuação?	1,79
	30) Cibersegurança: qual o nível de introdução desta tecnologia em sua área de atuação?	2,24
	31) Em sua área de atuação, qual o nível de concretização de soluções que visam a segurança dos dados armazenados internamente ou na nuvem?	2,34
32) Em sua área de atuação, qual o nível de implementação de soluções que visam garantir a integridade, autenticidade e privacidade dos dados compartilhados dentro e fora da empresa?	2,48	
33) Em sua área de atuação, qual o nível de implementação de soluções que visam garantir a disponibilidade e o funcionamento correto dos serviços digitais utilizados através da internet para criar, produzir ou comercializar produtos?	2,17	
	Média Geral	1,81

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O nível de maturidade de cada uma das tecnologias componentes do conceito de Indústria 4.0, na empresa participante, é apresentada de forma resumida pelo gráfico da Figura 16.

Figura 16 – Radar Global das tecnologias emergentes.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Analisando a Figura 16 verifica-se que para os respondentes da empresa participante as tecnologias de Cibersegurança (2,30), Computação em nuvem (2,28), IoT (2,13), e *Big Data* (2,09) são as que se encontram em um nível de maior maturidade dentro da organização, posicionando-se no nível 2 da “Conectividade”. Observa-se, portanto, a existência de projetos iniciais implementados, sendo a maioria das atividades automatizadas e os processos são informatizados e conectados, de maneira que alguns benefícios já são observados.

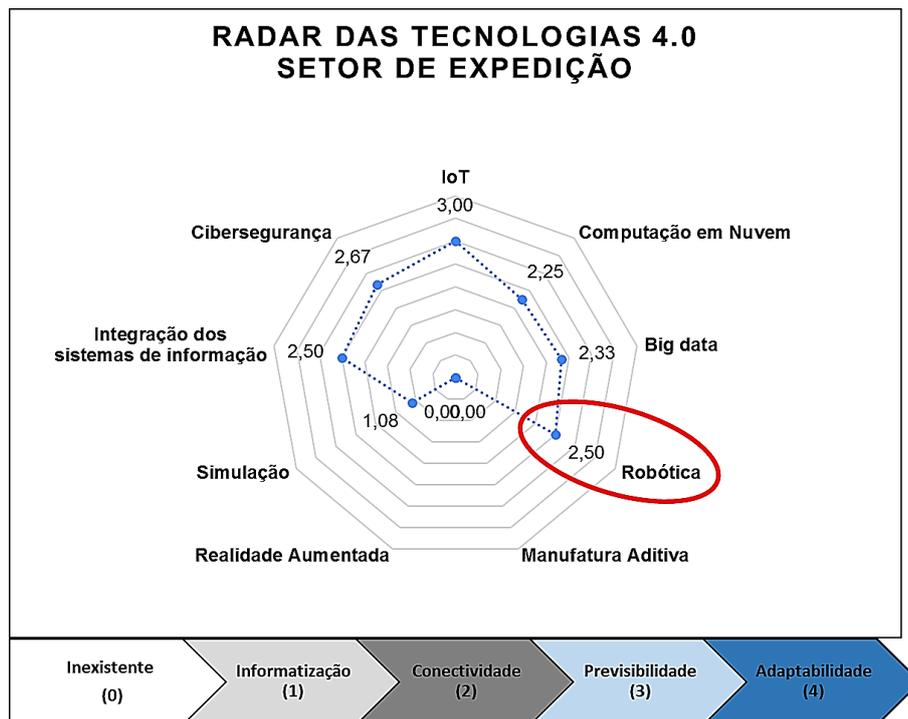
As tecnologias de Integração dos sistemas de informação (1,85) e Simulação (1,27) foram avaliadas como nível 1 de maturidade “Informatização”, onde os projetos de implementação estão sendo planejados e alguns em fase de desenvolvimento; existem processos executados já informatizados, mas não conectados.

Ainda sobre a Figura 16, observa-se também que as tecnologias Robótica (0,71), Realidade Aumentada (0,42) e Manufatura Aditiva (0,30) são, segundo os respondentes, as

tecnologias que se encontram em um nível de menor maturidade dentro de todas as avaliadas, posicionando em um momento de transição entre nível 0 “Inexistente” e o nível 1 “Informatização”.

Um fato relevante é que os resultados apresentados são uma média das 19 áreas participantes, que se analisadas individualmente apresentam uma foto distinta do Radar Global, como ilustrado na figura 17.

Figura 17 – Radar Setorial das tecnologias emergentes.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A área da Expedição por exemplo, como observado na Figura 17, apresenta a tecnologias de Robótica (2,50) como bem desenvolvida em seu Radar Setorial, um dado que diverge da média geral apresentada da Figura 16

5.5.2 Dimensões: Estratégia, Habilidades e Benefícios e Estágio referencial de implementação da Indústria 4.0

A Tabela 2 apresenta uma média dos resultados obtidos para cada uma das questões contidas nas dimensões Estratégia, Habilidades e Benefícios, bem como uma média geral de cada dimensão.

Tabela 2 – Dimensões: Estratégia, Habilidades e Benefícios.

Dimensão	Questão	Nível
Estratégia	34) Na sua percepção, quão próximos do conceito da Indústria 4.0 estão os processos em sua área de atuação?	1,98
	35) Em quais processos sua área de atuação introduziu tecnologias da Indústria 4.0 e em que nível de maturidade se encontram?	2,02
	36) Em quais processos sua área de atuação tem a intenção de investir na implementação da Indústria 4.0 e qual nível deste investimento?	2,31
	37) Em sua área de atuação, qual o nível de acompanhamento sobre o progresso dos projetos de implementação da Indústria 4.0 implantados?	1,96
	Média	2,07
Habilidades	38) Qual seu nível de conhecimento sobre o tema Indústria 4.0?	2,37
	39) Qual o nível de suas habilidades e conhecimentos quando se trata da utilização de recursos de infraestrutura em Tecnologia de Informação?	2,04
	40) Qual seu nível de conhecimento sobre o tema automação industrial?	2,11
	41) Como você avalia suas habilidades e conhecimentos quando se trata da utilização de tecnologias Business Intelligence e <i>Big data</i> ?	1,70
	42) Qual o nível de suas habilidades quando se trata da utilização de tecnologias e ferramentas voltadas à segurança e proteção de dados e informações?	1,63
	Média	1,97
Benefícios	43) Qual nível observado dos benefícios propostos pela Indústria 4.0 em sua empresa?	2,28
	44) Personalização em massa: qual nível de desenvolvimento deste benefício em sua empresa?	1,90
	45) Flexibilidade das linhas de produção: qual nível de desenvolvimento deste benefício em sua empresa?	1,80
	46) Tomada de decisão seja otimizada: qual nível de desenvolvimento deste benefício em sua empresa?	2,21
	47) Produtividade e eficiência na utilização dos recursos: qual nível de desenvolvimento destes benefícios em sua empresa ?	2,08
	48) Oferta de serviços mediante utilização de plataformas e outras tecnologias digitais. Qual nível de desenvolvimento deste benefício em sua empresa?	2,08
	49) O Equilíbrio entre o trabalho e o bem-estar dos funcionários: qual nível de desenvolvimento deste benefício em sua empresa?	2,32
	Média	2,10

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A Tabela 3 apresenta uma média dos resultados obtidos para cada uma das dimensões Tecnologias, Estratégia, Habilidades e Benefícios, incluindo o estágio referencial de implementação da Indústria 4.0.

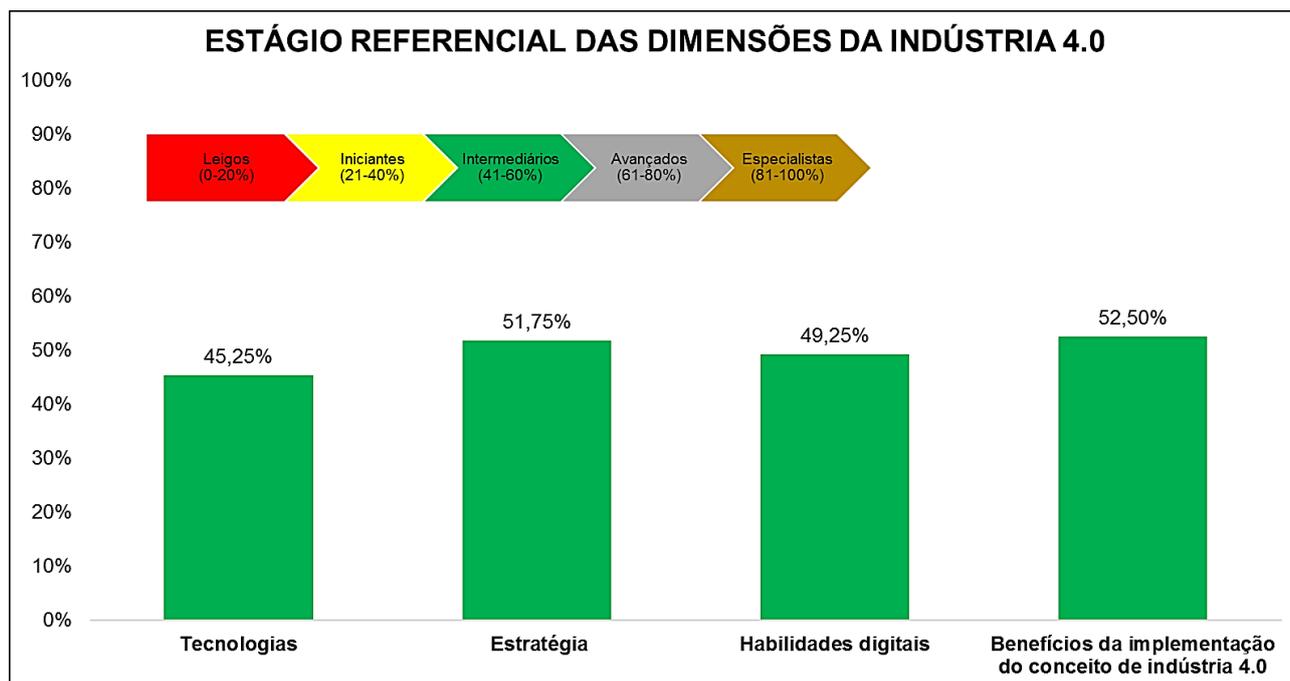
Tabela 3 – Estágio referencial de implementação da Indústria 4.0

Referencial	Dimensões	Nível	%
Indústria 4.0	Tecnologias	1,81	45,25%
	Estratégia	2,07	51,75%
	Habilidades	1,97	49,25%
	Benefícios	2,10	52,50%
	MÉDIA	1,99	49,69%

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O gráfico da Figura 18 apresenta o estágio referencial de cada uma das dimensões fundamentais para implementação e avaliação de maturidade da Indústria 4.0.

Figura 18 – Dimensões da Implementação da Indústria 4.0.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Observando a Figura 18, percebe-se que a empresa selecionada para aplicação do teste piloto da ferramenta de diagnóstico, mesmo sendo uma grande indústria nacional do segmento do vestuário, apresentou resultados que a posicionam em um referencial intermediário, quanto as dimensões necessárias para implementação e maturidade da Indústria 4.0.

A dimensão Tecnologias, ao apresentar um resultado de 45,25%, posiciona a empresa participante em um estado intermediário de utilização e implementação das tecnologias e recursos que integram o conceito de Indústria 4.0. As áreas de Desenvolvimento de Produto (60,49%) e Costura (32,14%) destacam-se como os extremos da dimensão.

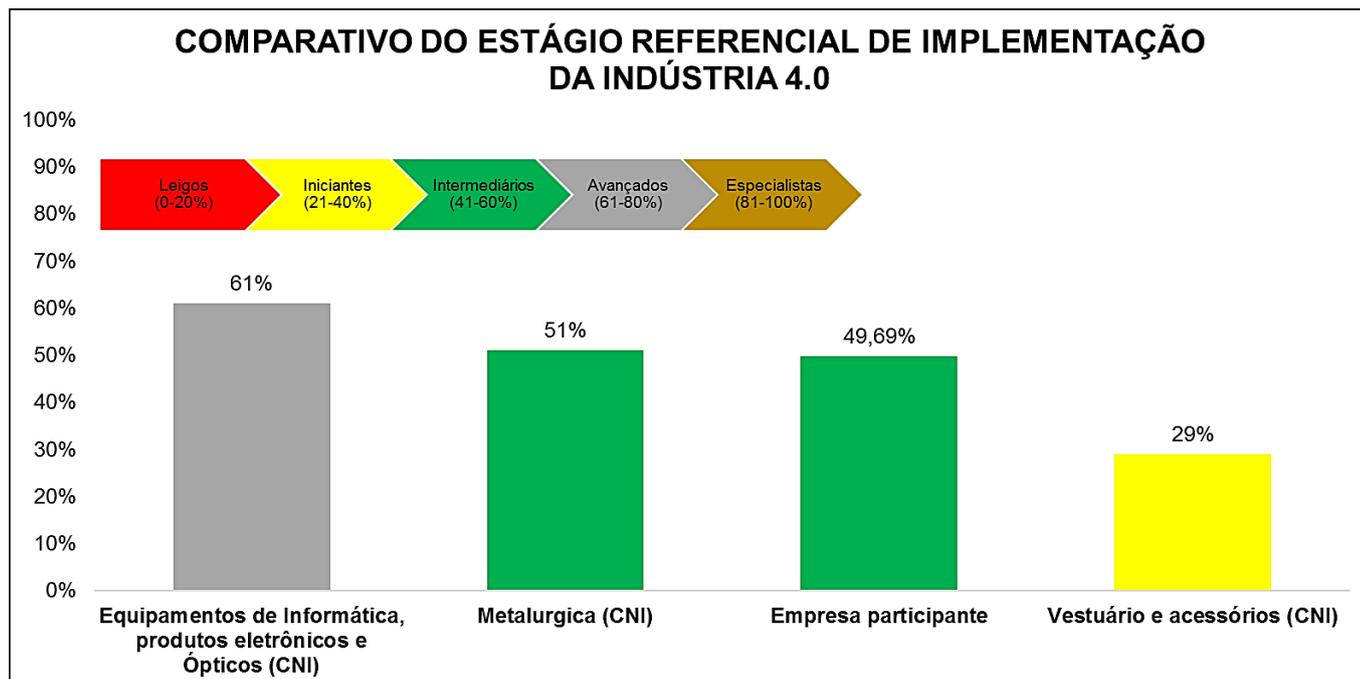
Em 2016, a CNI publicou uma sondagem industrial realizada sobre o conceito de Indústria 4.0. Nesta sondagem, utilizou-se também um questionário como instrumento investigativo, apresentando como resultado final o percentual de adoção de onze tecnologias digitais de manufatura e o nível de adoção destas em diferentes segmentos industriais (CNI, 2016a).

A ferramenta desenvolvida neste trabalho difere da utilizada pela CNI em dois aspectos, o primeiro é o fato de utilizar uma abordagem focada nos processos têxteis e de confecção e por fim, a característica de investigar outros pilares fundamentais para

implementação, como a estratégia de investimento, as habilidades digitais e a verificação dos benefícios que caracterizam o conceito de Indústria 4.0.

A Figura 19 propõem uma análise comparativa dos resultados obtidos nos dois questionários para o índice de adoção das tecnologia digitais de manufatura, aqui o objetivo é avaliar a condição da empresa participante em um cenário nacional.

Figura 19 – Estágio referencial de implementação da Indústria 4.0.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Ao analisar a Figura 19, verifica-se que a empresa participante demonstra-se bem posicionada e melhor desenvolvida quanto à adoção das tecnologias digitais de manufatura, (45,25%), quando comparada à média nacional do seu segmento (29%). Porém, quando comparada com outras áreas da indústria, tais como setores de produtos eletrônicos (61%), metalúrgica (53%), demonstra um atraso na implementação e utilização das tecnologias componentes do conceito de Indústria 4.0.

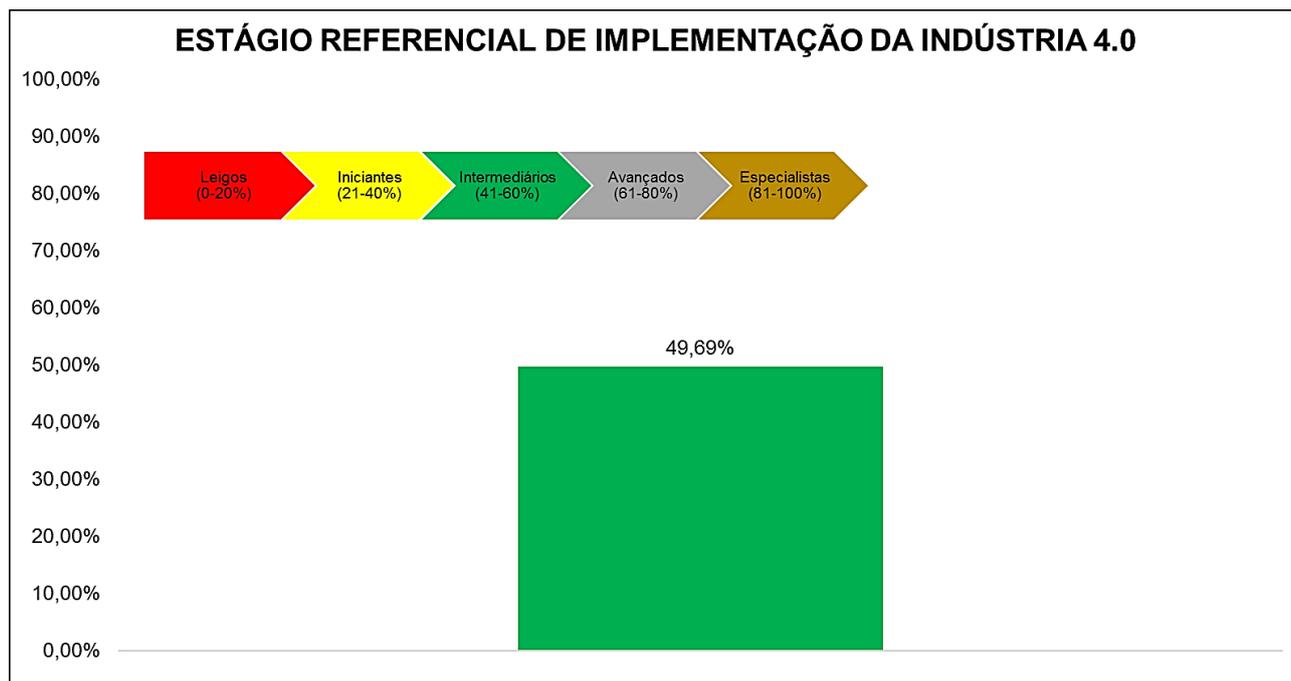
Analisando a dimensão Estratégia observa-se um resultado de 51,75%, portanto, os investimentos em equipamentos, tecnologias e capacitação técnica encontram-se também em estágio intermediário na empresa participante. As áreas de Manutenção (78,57%) e Gestão de pessoas (30,36%) destacam-se como os extremos da dimensão.

A dimensão Habilidades digitais apresenta um resultado de 49,25 %, o que significa que os respondentes se consideram em um nível intermediário quanto a seu conhecimento sobre temas relacionados às tecnologias digitais utilizadas no processo de manufatura. As áreas de Tecnologia da Informação (81,67%) e Dobração (30,01%) destacam-se como os extremos da dimensão.

Por fim, a dimensão Benefícios apresenta um resultado 52,50%. Este percentual sinaliza o quanto os benefícios propostos pela Indústria 4.0 são percebidos na empresa participante. Os setores de Desenvolvimento de Produto (80,95%) e Bordado (25,01%) destacam-se como os extremos da dimensão.

O diagnóstico sobre o estágio referencial de implementação da Indústria 4.0 na empresa participante é obtido através da média aritmética das 4 dimensões: tecnologias, estratégia, habilidades digitais e benefícios, sendo apresentado na Figura 20.

Figura 20 – Implementação da Indústria 4.0 na empresa participante.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A empresa participante, com resultado de 49,69%, conforme observado Figura 20, é enquadrada como em um estágio intermediário de implementação da indústria 4.0.

Segundo a ferramenta de diagnóstico desenvolvida, neste estágio, a empresa começa a incorporar a implementação da Indústria 4.0 em seu planejamento estratégico. Além disso as

iniciativas são bem definidas e existem investimentos expressivos em algumas áreas. Os principais processos de manufatura são automatizados, porém a infraestrutura das outras áreas não atende os requisitos para expansão futura.

Algumas informações do processo de produção são coletadas automaticamente, sendo usadas de forma limitada. Os sistemas de informação são integrados em algumas áreas e as informações entre elas são compartilhadas. Soluções sobre cibersegurança já estão em andamento.

As habilidades e conhecimentos necessários para a expansão da indústria 4.0 dentro da estrutura estão concentradas em áreas específicas e alguns dos benefícios esperados deste nível de implementação da indústria 4.0 já são observados.

O teste piloto foi realizado em uma única empresa, portanto, os resultados da ferramenta de diagnóstico não podem ser definidas como parâmetro para inferências ou análises conclusivas sobre um setor industrial. Porém, percebe-se que existe um alinhamento entre os resultados obtidos na revisão da literatura e na aplicação do questionário desenvolvido.

Em ambos os casos, as tecnologias com maior maturidade encontradas têm suas aplicações voltadas a melhorar e garantir a segurança do fluxo de informações e dados entre os processos da cadeia têxtil e do vestuário, a citar: IoT, computação em nuvem e *Big data* e Cibersegurança. Existe também, uma concordância entre as tecnologias como menor nível de maturidade: realidade aumentada e manufatura aditiva.

Outra similaridade é a heterogeneidade encontrada no desenvolvimento e na maturidade das tecnologias e conceitos da Indústria 4.0 dentro do setor têxtil, variando de acordo com a área, processo, produto ou benefício desejado.

As divergências encontradas referem-se a robótica, que está em um nível inferior de implementação dentro da empresa participante do teste piloto (item 5.5.1). Entretanto, na revisão da literatura, é considerada como uma das principais forças para implementação da Indústria 4.0 na área têxtil e de confecção. Outra divergência, foi o fato da Cibersegurança não apresentar um destaque nas publicações sobre indústria 4.0 dentro da área têxtil, porém foi a tecnologia com maior nível de maturidade identificada na empresa após aplicação da ferramenta.

6 CONCLUSÃO

O conceito de Indústria 4.0 propõe mudanças disruptivas nos princípios da produção tradicional. Portanto, é fundamental que as empresas e os indivíduos se preparem buscando desenvolver seus conhecimentos sobre o conceito, as tecnologias, os desafios e as oportunidades existentes na implementação da Indústria 4.0. Além disso, que tenham disponível instrumentos e ferramentas práticas que os auxiliem no diagnóstico de implementação e maturidade das tecnologias componentes do conceito.

Verificou-se, na revisão da literatura, que na transição para a Indústria 4.0, as indústrias têxteis em geral têm investido principalmente na implementação de tecnologias voltadas a aumentar a eficiência do processo de produção, redução de custos operacionais e melhoria na gestão dos negócios. Nos exemplos observados, predomina a implementação de projetos que integram tecnologias de informação, IoT (RFID, QR code, sensores, atuadores), *softwares* para o planejamento, programação, controle e gestão do processo produtivo e a robótica aplicada aos processos produtivos.

Algumas empresas têxteis que já superaram o estágio da informatização iniciam sequencialmente projetos nos estágios seguintes. Nestas organizações, além das tecnologias de IoT, outras como *Big data*, computação em nuvem, integração horizontal e vertical dos sistemas e cibersegurança ganham destaque, promovendo o desenvolvimento dos conceitos de “fábrica e produto inteligente”.

Os projetos de implantação das tecnologias de RA, MA e simulação na área têxtil ainda são embrionários, normalmente implementados através de ferramentas e *softwares* orientados para a criação e desenvolvimento de novos modelos de processo, produtos e comércio.

Portanto, a revisão da literatura registra que no Brasil, o setor têxtil e de confecção encontra-se em um estágio incipiente de implementação da Indústria 4.0.

Ao finalizar a revisão da literatura, o desenvolvimento do instrumento para diagnóstico de maturidade da Indústria 4.0, proposto como principal objetivo deste trabalho, teve como alicerce as oportunidades de contribuição com o estado da arte, utilizando os principais embasamentos conceituais abordados na revisão. Foi possível, deste modo, desenvolver uma ferramenta eficaz, ajustada e customizada de acordo com as particularidades do setor têxtil e de confecção.

A aplicação da ferramenta desenvolvida obteve êxito em seu teste piloto, sendo destacados pelos respondentes os seguintes pontos positivos: praticidade, clareza, amplitude e

coerência no diagnóstico apresentado. Como oportunidades de melhoria foram observados: reduzir a complexidade das questões, o que levaria a um maior entendimento do público em geral, principalmente daqueles que apresentam um menor grau de instrução, e consequentemente do tempo necessário para responder o questionário.

O objetivo da presente dissertação de mestrado não foi apresentar um dado conclusivo, que permita generalizar o resultado encontrado na empresa participante para todo setor têxtil e de confecção, mas sim desenvolver um instrumento de diagnóstico que possa ser replicado por empresas de diferentes portes e produtos dentro do mesmo setor.

Portanto, o instrumento pode ser utilizado para elaboração de um diagnóstico atual da empresa com relação a implementação da Indústria 4.0 e a sua maturidade, produzindo relatórios setoriais sobre as quatro dimensões fundamentais para implementação do conceito: tecnologias, estratégia, habilidades digitais e benefícios da implementação. Estes relatórios, permitem estabelecer áreas e dimensões prioritárias para obtenção de uma melhoria na maturidade do conceito dentro da empresa, e por consequência, a potencialização dos benefícios propostos.

Por fim, entende-se que ensaio prévio e o teste piloto realizados cumprem com os requisitos necessários para aceitação do modelo, visto que, apesar dos respondentes estarem concentrados a alguns círculos acadêmicos ou industriais, existe entre eles uma variedade considerável e representativa de diferentes profissionais, áreas de formação e níveis acadêmicos. Dado o exposto acima, o modelo de questionário desenvolvido é considerado como um instrumento adequado para o diagnóstico do grau de adoção dos conceitos e tecnologias emergentes que compõem a Indústria 4.0 no setor têxtil e de confecção.

Como sugestão para trabalhos futuros este instrumento poderá ser aplicado em um campo amostral amplo, abrangendo um conjunto de empresas do setor têxtil e confecção, selecionadas no segmento de médias e grandes empresas, visando análises comparativas sobre o nível de maturidade e o grau de implementação da Indústria 4.0, possibilitando o posicionamento referencial de uma dada empresa com seus concorrentes.

REFERÊNCIAS

- ACHARYA, Abhilash *et al.* **Big data, knowledge co-creation and decision making in fashion industry.** International Journal of Information Management, v. 42, p. 90-101, 2018.
- ALCÂNTARA, Matheus Costa. **Análise do desenvolvimento da indústria 4.0 no Brasil em relação às principais potências industriais.** Gestão da Produção em Foco. Volume 41, p. 53, 2020.
- ALCAYAGA, A., WIENER, M., & HANSEN, E. G.. **Towards a framework of smart-circular systems: An integrative literature review.** Journal of Cleaner Production, 221, 622-634, 2019.
- ANWAR, Muhammad; KHAN, Sher Zaman; SHAH, Syed Zulfiqar Ali. **Big Data Capabilities and Firm's Performance: A Mediating Role of Competitive Advantage.** Journal of Information & Knowledge Management, v. 17, n. 04, p. 1850045, 2018.
- ARRIBAS, Veronica; ALFARO, José A. **3D technology in fashion: from concept to consumer.** Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal, v. 22, n. 2, p. 240-251, 2018.
- AYDOS, Murat; VURAL, Yılmaz; TEKEREK, Adem. **Assessing risks and threats with layered approach to Internet of Things security.** Measurement and Control, v. 52, n. 5-6, p. 338-353, 2019.
- BECHTSIS, Dimitrios *et al.* **Intelligent autonomous vehicles in digital supply chains: a framework for integrating innovations towards sustainable value networks.** Journal of Cleaner Production, v. 181, p. 60-71, 2018.
- BEECROFT, M. **3D printing of weft knitted textile based structures by selective laser sintering of nylon powder.** In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2016. p. 012017.
- BERTOLA, Paola; TEUNISSEN, Jose. **Fashion 4.0. Innovating fashion industry through digital transformation.** Research Journal of Textile and Apparel, v. 22, n. 4, p. 352-369, 2018.
- BLANCHET *et al.*, 2014. **INDUSTRY 4.0: The new industrial revolution How Europe will succeed.** Think Act. Roland Berger: Munique, 2014
- BORDEL, B., Iturrioz, T., Alcarria, R., & Sánchez-de-Rivera, D. (, July). **Cyber-Physical Sensors and Devices for the Provision of Next-Generation Personalized Services.** In International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (pp. 479-490). Springer, Cham, 2018.
- BORGIANNI, Yuri; MACCIONI, Lorenzo; BASSO, Demis. **Exploratory study on the perception of additively manufactured end-use products with specific questionnaires and eye-tracking.** International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM), v. 13, n. 2, p. 743-759, 2019.
- BRESSANELLI, Gianmarco *et al.* **The role of digital technologies to overcome Circular Economy challenges in PSS Business Models: an exploratory case study.** Procedia CIRP, v. 73, n. 2018, p. 216-221, 2018.

- BRUNO, Flavio da Silveira. **A quarta revolução industrial do setor têxtil e de confecção: a visão de futuro para 2030**. São Paulo: Estação das Letras e Cores, p. 76, 2016.
- BUMBLAUSKAS, Daniel *et al.* **Smart Maintenance Decision Support Systems (SMDSS) based on corporate big data analytics**. *Expert Systems with Applications*, v. 90, p. 303-317, 2017.
- CARMONA, José Adrian Ruiz; BENÍTEZ, Julio César Muñoz; GARCÍA-GERVACIO, José L. **SCADA system design: A proposal for optimizing a production line**. In: 2016 International Conference on Electronics, Communications and Computers (CONIELECOMP). IEEE, 2016. p. 192-197.
- CELASCHI, Flaviano. **Advanced design-driven approaches for an Industry 4.0 framework: The human-centred dimension of the digital industrial revolution**. *Strategic Design Research Journal*, v. 10, n. 2, p. 97-104, 2017.
- CHEN, C. L. **Value Creation by SMEs Participating in Global Value Chains under Industry 4.0 Trend: Case Study of Textile Industry in Taiwan**. *Journal of Global Information Technology Management*, 22(2), 120-145, 2019.
- CHEN, Hsinchun; CHIANG, Roger HL; STOREY, Veda C. **Business intelligence and analytics: From big data to big impact**. *MIS quarterly*, v. 36, n. 4, 2012.
- CHEN, Min *et al.* **Wearable 2.0: enabling human-cloud integration in next generation healthcare systems**. *Ieee communications magazine*, v. 55, n. 1, p. 54-61, 2017.
- CLOPPENBURG, F. *et al.* **Industry 4.0—How will the nonwoven production of tomorrow look like?**. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, p. 132001, 2017.
- CNI, CDI. **Indústria 4.0: Novo Desafio para a indústria Brasileira**. *Indicadores CNI*, v. 17, p. 13, 2016a.
- CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (Brasília). **Desafios para a indústria 4.0 no Brasil**. Brasília: CNI, 2016b.
- CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (Brasília). **Difusão das Tecnologias da Indústria 4.0 em Empresas Brasileiras**. Brasil. Brasília: CNI, 2020.
- CNI, Confederação Nacional da Indústria. **Investimentos em indústria 4.0 / Confederação Nacional da Indústria**. – Brasília: CNI, 2018.
- COBO, Manuel J. *et al.* **SciMAT: A new science mapping analysis software tool**. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, v. 63, n. 8, p. 1609-1630, 2012.
- COLOMBO, Armando W. *et al.* **Industrial cloud-based cyber-physical systems**. *The IMC-AESOP Approach*, v. 22, 2014.
- COMER, Douglas E.; DROMS, Ralph E. **Computer networks and internets**. Prentice-Hall, Inc., 2003.
- DA XU, Li. **Enterprise systems: state-of-the-art and future trends**. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, v. 7, n. 4, p. 630-640, 2011.
- DAMODARAM, A. K.; RAVINDRANATH, K. **Cloud computing for managing apparel and garment supply chains-an empirical study of implementation framework**. *Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, v. 7, n. 6, p. 325, 2010.

- DE FREITAS, Jéssica Viana *et al.* **Análise de layout com auxílio da simulação computacional aplicado em uma confecção.** Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão (ISSN: 2525-4782), v. 4, n. 5, 2019.
- DEL CAMPO, Guillermo *et al.* **IoT Solution for Energy Optimization in Industry 4.0: Issues of a Real-life Implementation.** In: 2018 Global Internet of Things Summit (GloTS). IEEE, 2018. p. 1-6.
- ERBOZ, Gizem. **How to define industry 4.0: main pillars of industry 4.0.** Szent Istvan University, Gödöllő, p. 1-9, 2017.
- FERNÁNDEZ-CARAMÉS, Tiago M.; FRAGA-LAMAS, Paula. **A Review on the Application of Blockchain to the Next Generation of Cybersecure Industry 4.0 Smart Factories.** IEEE Access, v. 7, p. 45201-45218, 2019.
- FERNÁNDEZ-CARAMÉS, Tiago M.; FRAGA-LAMAS, Paula. **Towards the Internet of smart clothing: A review on IoT wearables and garments for creating intelligent connected e-textiles.** Electronics, v. 7, n. 12, p. 405, 2018
- FRAGA-LAMAS, Paula *et al.* **A review on industrial augmented reality systems for the industry 4.0 shipyard.** Ieee Access, v. 6, p. 13358-13375, 2018.
- GAUSEMEIER, J.; KLOCKE, F. **Industrie 4.0, International Benchmark, options for the future and recommendations for manufacturing research.** VDI Nachrichten, 2016.
- GE, Mouzhi; BANGUI, Hind; BUHNOVA, Barbora. **Big data for internet of things: a survey.** Future Generation Computer Systems, v. 87, p. 601-614, 2018.
- GHANI, Wan Safra Diyana Wan Abdul *et al.* **Critical Review on M-Retail Cloud-Based Application for Textile Cyberpreneurship in Malaysia: Constraints, Challenges and Opportunities.** Advanced Science Letters, v. 24, n. 2, p. 1497-1501, 2018.
- GHANI, Wan Safra Diyana Wan Abdul *et al.* **Enterprise mobile cloud application for textile cyberpreneurs: big data issues, challenges and opportunities.** 2015.
- GIBSON, Ian *et al.* **Additive manufacturing technologies.** New York: Springer, 2014.
- GOES, Nuno. **Cibersegurança na Indústria Nacional: Dossier Sobre Cibersegurança Industrial.** Robótica, Porto, v. 1, n. 114, p.56-62, 15 jan. 2019. NUNO, G. Cibersegurança na indústria nacional.
- GONZALEZ, A.; RINALDI, R.; BANDINELLI, R. **Critical management issues for implementing RFID in the Fashion Industry Supply Chain.** 2010.
- GUIZZO, Erico. **Your next t-shirt will be made by a robot.** IEEE Spectrum, v. 55, n. 1, p. 50-57, 2018.
- HÄGELE, Martin; NILSSON, Klas; PIRES, J. Norberto. **Industrial robotics.** Springer handbook of robotics, p. 963-986, 2008.
- HANKEL, Martin; REXROTH, Bosch. **Industrie 4.0: The reference architectural model industrie 4.0 (rami 4.0).** ZVEI: Die Elektroindustrie, 2015.
- Haseeb, M., Hussain, H. I., Ślusarczyk, B., & Jermsittiparsert, K. **Industry 4.0: A solution towards technology challenges of sustainable business performance.** Social Sciences, 8(5), 154, 2019.

- IMRAN, Muhammad *et al.* **Influence of Industry 4.0 on the Production and Service Sectors in Pakistan: Evidence from Textile and Logistics Industries.** Social Sciences, v. 7, n. 12, p. 246, 2018.
- I-SCOOP. **Industry 4.0: the fourth industrial revolution—guide to industrie 4.0.** 2017.
- JAIN, Sheenam *et al.* **Big data in fashion industry.** In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2017. p. 152005.
- JAYARAM, Athul. **Lean six sigma approach for global supply chain management using industry 4.0 and IIoT.** In: 2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I). IEEE, 2016. p. 89-94.
- JONES, J. L. (2006). **Robots at the tipping point: the road to iRobot Roomba.** IEEE Robotics & Automation Magazine, 13(1), 76-78.
- JU, Zhangfeng; YANG, Chenguang; MA, Hongbin. **Kinematics modeling and experimental verification of baxter robot.** In: Proceedings of the 33rd Chinese Control Conference. IEEE, 2014. p. 8518-8523.
- KAGERMANN, Henning *et al.* **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group.** Forschungsunion, 2013.
- KAGERMANN, Henning *et al.* (Ed.). **Industrie 4.0 in a Global Context: strategies for cooperating with international partners.** Herbert Utz Verlag, 2016.
- KARABEGOVIĆ, Sc Isak. **The role of industrial and service robots in fourth industrial revolution with focus on China.** Journal of Engineering, v. 5, n. 2, p. 110-117, 2017.
- KERPEN, D. *et al.* **Effects of cyber-physical production systems on human factors in a weaving mill: Implementation of digital working environments based on augmented reality.** In: 2016 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT). IEEE, 2016. p. 2094-2098.
- KIRNER, Cláudio; TORI, Romero. **Fundamentos de realidade aumentada.** Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada, v. 1, p. 22-38, 2006.
- KNORR, Eric; GRUMAN, Galen. **What cloud computing really means.** InfoWorld, v. 7, p. 20-20, 2008.
- KOHN, Vanessa; HARBORTH, David. **Augmented Reality-a Game Changing Technology for manufacturing processes?** In: ECIS. 2018. p. 111.
- KOLBERG, Dennis; ZÜHLKE, Detlef. **Lean automation enabled by industry 4.0 technologies.** IFAC-PapersOnLine, v. 48, n. 3, p. 1870-1875, 2015.
- KRITZINGER, Werner *et al.* **Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification.** IFAC-PapersOnLine, v. 51, n. 11, p. 1016-1022, 2018.
- KUMAR, Vijay *et al.* **Introduction to robotics.** University of Pennsylvania, Philadelphia, USA2014, 2014.
- LARSEN, Lars *et al.* **Full automatic path planning of cooperating robots in industrial applications.** In: 2017 13th IEEE Conference on Automation Science and Engineering (CASE). IEEE, 2017. p. 523-530.

- LEE, Jae-Yong *et al.* **Study on sensing and monitoring of sewing machine for textile stream smart manufacturing innovation.** In: 2017 24th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP). IEEE, 2017. p. 1-3.
- LEE, Jae-Yong *et al.* **Study on Stream Cooperation Connected Smart Manufacturing in Textile Timely Production System.** In: MATEC Web of Conferences. EDP Sciences, 2018. p. 01005.
- LEE, Jay; KAO, Hung-An; YANG, Shanhu. **Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment.** Procedia Cirp, v. 16, p. 3-8, 2014.
- LEIST, Steven K. *et al.* **Investigating the shape memory properties of 4D printed polylactic acid (PLA) and the concept of 4D printing onto nylon fabrics for the creation of smart textiles.** Virtual and Physical Prototyping, v. 12, n. 4, p. 290-300, 2017.
- LIAO, W., & Wang, T. **A Novel Collaborative Optimization Model for Job Shop Production–Delivery Considering Time Window and Carbon Emission.** Sustainability, 11(10), 2781, 2019.
- LICHTBLAU, Karl *et al.* **IMPULS-industrie 4.0-readiness.** Impuls-Stiftung des VDMA, Aachen-Köln, 2015.
- LIU, J., Xiao, Y., Li, S., Liang, W., & Chen, C. P. (2012). **Cyber security and privacy issues in smart grids.** IEEE Communications Surveys & Tutorials, 14(4), 981-997.
- LU, Yang. **Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues.** Journal of Industrial Information Integration, v. 6, p. 1-10, 2017.
- MACHOVA, Katerina. **Automation versus modeling and simulation.** In: **Automation in Garment Manufacturing.** Woodhead Publishing, 2018. p. 29-48.
- MATTHEWS, Manyalibo J. *et al.* **Diode-based additive manufacturing of metals using an optically-addressable light valve.** Optics express, v. 25, n. 10, p. 11788-11800, 2017.
- MARINELLI, Mario *et al.* **En route truck–drone parcel delivery for optimal vehicle routing strategies.** IET Intelligent Transport Systems, v. 12, n. 4, p. 253-261, 2017.
- MELNYK, Steven A.; FLYNN, Barbara B.; AWAYSHEH, Amrou. **The best of times and the worst of times: empirical operations and supply chain management research.** International Journal of Production Research, v. 56, n. 1-2, p. 164-192, 2018
- MICHALOS, G. *et al.* **Seamless human robot collaborative assembly – An automotive case study.** Mechatronics, v. 000, n. July 2017, p. 1–18, 2018.
- MOCH, Robert *et al.* **The dimension of innovation in SME networks? a case study on Cloud Computing and Web 2.0 technologies in a textile manufacturing network.** International Journal of Innovation and Sustainable Development, v. 5, n. 2-3, p. 185-198, 2011.
- MOKTADIR, Md Abdul *et al.* **Assessing challenges for implementing Industry 4.0: Implications for process safety and environmental protection.** Process Safety and Environmental Protection, v. 117, p. 730-741, 2018.
- MOSAVI, Amir; LOPEZ, Alvaro; VARKONYI-KOCZY, Annamária R. **Industrial applications of big data: state of the art survey.** In: International Conference on Global Research and Education. Springer, Cham, p. 225-232, 2017.

- MOURTZIS, Dimitris. **Simulation in the design and operation of manufacturing systems: state of the art and new trends.** International Journal of Production Research, p. 1-23, 2019.
- MOURTZIS, Dimitris; DOUKAS, Michael; BERNIDAKI, Dimitra. **Simulation in manufacturing: Review and challenges.** Procedia CIRP, v. 25, p. 213-229, 2014.
- NASCIMENTO, Daniel Luiz Mattos *et al.* **Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context: A business model proposal.** Journal of Manufacturing Technology Management, v. 30, n. 3, p. 607-627, 2019.
- ONG, S. K.; YUAN, M. L.; NEE, A. Y. C. **Augmented reality applications in manufacturing: a survey.** International journal of production research, v. 46, n. 10, p. 2707-2742, 2008.
- PANG, Zhibo *et al.* **Introduction to the special section: convergence of automation technology, biomedical engineering, and health informatics toward the healthcare 4.0.** IEEE Reviews in Biomedical Engineering, v. 11, p. 249-259, 2018.
- PEREIRA, Rodolfo de Castro Domingos. **Realidade aumentada – conceitos, tecnologias e aplicações.** 2017.
- PEREZ, J. B., ARRIETA, A. G., HERNÁNDEZENCINAS, A., & QUEIRUGA-DIOS, A. (2016, October). **Industrial Cyber-Physical Systems in Textile Engineering.** In International Joint Conference SOCO'16-CISIS'16-ICEUTE'16 (pp. 126-135). Springer, Cham.2016
- RÜßMANN, Michael *et al.* **Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries.** Boston Consulting Group, v. 9, n. 1, p. 54-89, 2015.
- SABANTINA, Lilia *et al.* **Combining 3D printed forms with textile structures-mechanical and geometrical properties of multi-material systems.** In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2015. p. 012005.
- SAGGIOMO, Marco *et al.* **Human-and Task-Centered Assistance Systems in Production Processes of the Textile Industry: Determination of Operator-Critical Weaving Machine Components for AR-Prototype Development.** In: 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS). IEEE, 2016. p. 560-568.
- SALAH, Hadi *et al.* **MaRS Market Insights Wearable Tech: Leveraging Canadian Innovation to Improve Health,** 2014.
- SALCHAK, Y. A. *et al.* **Robotic quality control system for the components with complex shape.** In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2019. p. 012003.
- SCARPELLINI, A. *et al.* **A web-based monitoring application for textile machinery industry.** In: IEEE 2nd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry Leveraging a better tomorrow (RTSI). IEEE, 2016. p. 1-6, 2016.
- SCHLAEPFER, Dr Ralf C.; KOC, Markus. Deloitte AG. **Industry 4.0: Challenges and Solutions for the Digital Transformation and Use of Exponential Technologies,** Audit, Tax, Consulting. Corporate Finance, 2015
- SCHUH, Günther *et al.* (Ed.). **Industrie 4.0 maturity index: Managing the digital transformation of companies.** Utz, Herbert, 2017.

- SCHWAB, Klaus. **The fourth industrial revolution**. Currency, 2017.
- SCHWAB, Klaus W. E. **The Global Competitiveness Report, 2019**. Genova: World Economic Forum.
- SCHWEICHHART, Karsten. **Reference architectural model industrie 4.0 (rami 4.0)**. An Introduction. Available online: <https://www.plattform-i40.de> I, v. 40, 2016.
- SHARMA, Rajat; KUMAR, Vishal. **The Multidimensional Venture of developing a Smart City**. In: International Conference on Big Data and Computational Intelligence (ICBDICI). IEEE, 2019. p. 1-7, 2019.
- SIEMIENIUCH, Carys E.; SINCLAIR, Murray A.; HENSHAW, MJ deC. **Global drivers, sustainable manufacturing and systems ergonomics**. Applied ergonomics, v. 51, p. 104-119, 2015.
- SILVA, Fernando Souza *et al.* **Simulação do processo produtivo de uma indústria de confecção utilizando o software flexsim**. In: Simpósio de Engenharia de Produção. 2016.
- SIMONIS, K.; GLOY, Y. S.; GRIES, T. **3D knitting using large circular knitting machines**. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2017. p. 092004.
- ŠKRINJAR, Jasmina Pašagić; ŠKORPUT, Pero; FURDIĆ, Martina. **Application of unmanned aerial vehicles in logistic processes**. In: International Conference “New Technologies, Development and Applications”. Springer, Cham, 2018. p. 359-366.
- SONG, Jeungeun *et al.* **Emotion Communications Driven by Big Data Cloud, Smart Clothing and Robotics**. In: Proceedings of the 12th EAI International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks & Communities. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), 2018. p. 34-41.
- SPAHIU, T.; SHEHI, E.; PIPERI, E. **Advanced CAD/CAM systems for garment design and simulation**. In: Advanced CAD/CAM systems for garment design and simulation (pp. pp. 1-6). Tirana, ALBANIA: 6th INTERNATIONAL CONFERENCE OF TEXTILE. 2014.
- STRAUB, Jeremy. **An approach to detecting deliberately introduced defects and micro-defects in 3D printed objects**. In: Pattern Recognition and Tracking XXVIII. International Society for Optics and Photonics, 2017. p. 102030L.
- STRAUB, Jeremy. **Identifying positioning-based attacks against 3D printed objects and the 3D printing process**. In: Pattern Recognition and Tracking XXVIII. International Society for Optics and Photonics, 2017. p. 1020304.
- SURJIT, R.; RATHINAMOORTHY, R.; VARDHINI, KJ Vishnu. **ERP for textiles and apparel industry**. CRC Press, 2016. ZHANG, Yingfeng *et al.* A framework for Big Data driven product lifecycle management. Journal of Cleaner Production, v. 159, p. 229-240, 2017.
- TAO, Fei *et al.* **Data-driven smart manufacturing**. Journal of Manufacturing Systems, v. 48, p. 157-169, 2018.
- TILBURY, Dawn M. **Cyber-physical manufacturing systems**. Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems, v. 2, p. 427-443, 2019.

- VAN KREVELEN, D. W. F.; POELMAN, Ronald. **A survey of augmented reality technologies, applications and limitations.** International journal of virtual reality, v. 9, n. 2, p. 1-20, 2010.
- VOLINO, Pascal; CORDIER, Frederic; MAGNENAT-THALMANN, Nadia. **From early virtual garment simulation to interactive fashion design.** Computer-aided design, v. 37, n. 6, p. 593-608, 2005.
- WANG, Baolu; HA-BROOKSHIRE, Jung E. **Exploration of digital competency requirements within the fashion supply chain with an anticipation of industry 4.0.** International Journal of Fashion Design, Technology and Education, v. 11, n. 3, p. 333-342, 2018.
- WEISS, Astrid *et al.* **First Application of Robot Teaching in an Existing Industry 4.0 Environment: Does It Really Work?.** Societies, v. 6, n. 3, p. 20, 2016.
- XIA, Feng *et al.* **Internet of things.** International journal of communication systems, v. 25, n. 9, p. 1101, 2012.
- ZHOU, Jiajun; YAO, Xifan; ZHANG, Jianming. **Big Data in Wisdom Manufacturing for Industry 4.0.** In: 5th International Conference on Enterprise Systems (ES). IEEE, 2017. p. 107-112, 2017.

ANEXO I – QUESTIONÁRIO PARA DIAGNÓSTICO DE MATURIDADE DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NO SETOR TÊXTIL E DE CONFECÇÃO

(<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSelugdJnnFC6ht8wuZo6wvmzqj5bp5gDvX0wtPFGW2qij0Wyw/viewform>)

01/07/2021 DIAGNÓSTICO DE MATURIDADE DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NO SETOR TÊXTIL E DE CONFECÇÃO

DIAGNÓSTICO DE MATURIDADE DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NO SETOR TÊXTIL E DE CONFECÇÃO

Prezado participante,

Meu nome é Walakís Vieira Bataglini, sou aluno do curso de Mestrado em Engenharia Têxtil da Universidade Federal de Santa Catarina, campus - Blumenau, e para desenvolver minha Dissertação de Mestrado, preciso executar a validação de um modelo de questionário desenvolvido, cuja proposta é verificar o estágio de desenvolvimento da Indústria 4.0 em determinada área ou empresa do setor têxtil e de confecção. Informo que dados sigilosos como nome dos participantes e da empresa investigada não serão divulgados e nem considerados como parâmetros avaliativos, visto que esta é a primeira aplicação da ferramenta.

Desde já, agradeço pela sua participação.
*Obrigatório

1. Aceito que minhas respostas serão usadas para validação e melhoria do modelo de questionário desenvolvido, e que é proibida sua divulgação. *

Marcar apenas uma oval.

Aceito

Revoluções industriais

 Mecanização; Máquina a vapor; Primeiro Tear mecânico.	 Produção em massa; Linha de montagem; Energia elétrica.	 Automação; Eletrônica; Computadores.	 Sistemas Ciberfísicos; "Internet das Coisas".
1780	1870	1970	2011

01/07/2021 DIAGNÓSTICO DE MATURIDADE DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NO SETOR TÊXTIL E DE CONFECÇÃO

INDÚSTRIA 4.0 NO SETOR TÊXTIL E DE CONFECÇÃO



<http://youtube.com/watch?v=Gfn9TRfCKvE>

Demografia

O objetivo desta seção é conhecer as percepções dos participantes em relação à Indústria 4.0 de acordo com sua função, setor de atuação, nível de escolaridade, área de formação e idade.

<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSelugdJnnFC6ht8wuZo6wvmzqj5bp5gDvX0wtPFGW2qij0Wyw/viewform>

1/22

2/22

2. 1) Qual sua área de atuação? *

Marcar apenas uma oval.

- Desenvolvimento de Produto
- Engenharia de Produto
- Sala de Malhas
- Bordado
- Dobração
- Suprimentos/ Almoarifado
- Tecnologia de Informação
- Marketing
- Engenharia de Decoração
- Corte
- Costura
- Expedição
- PCP
- Gestão de Pessoas
- Modelagem
- Engenharia de Processos
- Estamparia
- Controle de Qualidade
- Distribuição
- Manutenção
- Outro: _____

3. 2) Qual sua função atual? *

Marcar apenas uma oval.

- Técnico/Analista
- Coordenador
- Supervisor
- Outro: _____

4. 3) Qual a sua idade? *

Marcar apenas uma oval.

- 18 – 28 anos
- 29 – 30 anos
- 31 – 50 anos
- 51 – 60 anos
- Igual ou superior a 61 anos

5. 4) Qual o seu grau de escolaridade? *

Marcar apenas uma oval.

- 1º grau completo
- 2º grau completo
- Superior incompleto
- Superior completo
- Pós-graduação
- Outro: _____

6. 5) Qual sua área de formação acadêmica? *

Marcar apenas uma oval.

- Ciências administrativas e de negócios
- Ciências exatas e tecnológicas
- Ciências biológicas e da saúde
- Ciências Humanas e sociais
- Não se aplica
- Outro: _____

Tecnologias

O objetivo desta seção é identificar como as nove tecnologias emergentes da Indústria 4.0 são utilizadas entre os diferentes setores de uma fábrica e quais apresentam maior desenvolvimento na área de atuação do participante. Para quantificar os resultados foi estabelecida uma escala em ordem crescente onde, o nível 4 indica o maior desenvolvimento possível da Indústria 4.0 na área investigada. Abaixo segue a descrição dos níveis:

0 - Inexistente ou sem potencial de aplicação: todos as atividades são executadas manualmente, não existe nem informatização nem automatização dos processos.

1 - Informatização: planejamento e desenvolvimento de projetos iniciais para Indústria 4.0, existe algumas atividades automatizadas e os processos são informatizados, mas não conectados.

2 - Conectividade: projetos iniciais de Indústria 4.0 implementados, benefícios já são observados, a maioria das atividades são automatizadas e os processos são informatizados e conectados com áreas específicas.

3 - Previsibilidade: projetos de Indústria 4.0 implementados, benefícios e retorno econômicos já são observados; atividades automatizadas e os processos são informatizados e conectados com todas as áreas específicas de seu contexto de atuação, obtendo seus respectivos dados em tempo real, permitindo simular diversos cenários para tomada de decisão.

4 - Adaptabilidade: projetos maduros e sólidos; benefícios e retornos econômicos são claros, atividades automatizadas e os processos são informatizados e conectados com toda a fábrica, informações referentes ao produto e o processo são obtidas em tempo real, permitindo simular diversos cenários para tomada de decisão, onde os dispositivos são capazes de trocar autonomamente as informações, desencadeando ações e controles de forma independente.

7. 6) Internet das coisas compreende a rede de equipamentos, sensores e ou dispositivos móveis conectados à internet que compartilham dados e informações. Qual o nível de implementação desta tecnologia em sua área de atuação? *

* Onde 4 corresponde que todos os equipamentos e dispositivos estão conectados e em rede, compartilhando dados e informações em tempo real com a fábrica e 0 que nenhum destes possui conexão com a internet.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

8. 7) Ainda sobre o tema internet das coisas, em sua área de atuação, equipamentos/sistemas estão conectados e podem ser controlados pela rede? *

* Onde 4 corresponde que todos equipamentos e sistemas podem ser controlados remotamente e 0 nenhum.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

9. 8) Em sua área de atuação, existe comunicação entre as máquinas (M2M) e outros dispositivos computacionais (sensores, atuadores), permitindo que estes interajam entre si? *

* Onde 4 corresponde que todos equipamentos comunicam-se entre si e com a fábrica de maneira autônoma e 0 que não existe nenhuma comunicação entre os equipamentos.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

10. 9) Em sua área de atuação, utilizam-se tecnologias de rastreamento (RFID, sensores) para obter em tempo real informações sobre o produto, o processo ou o cliente? *

* Onde 4 corresponde a utilização de tecnologias de rastreamento para todos os tipos de controles e apontamentos produtivos e 0 nenhuma utilização.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

17. 16) Big Data refere-se à coleta, armazenamento, processamento e análise de um grande conjunto dados, de diferentes fontes e formatos, com objetivo de fornecer informações úteis para tornar a gestão dos processos mais eficiente e inteligente. Qual nível de implementação desta tecnologia em sua área de atuação? *

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

18. 17) Em sua área de atuação, a coleta de dados (estoque, tempo do processo, percentual de 2ª qualidade, eficiência ou taxa de ocupação) é realizada de maneira automática? *

* Onde 4 corresponde que toda coleta de dados é realizada de maneira automática e 0 que toda coleta de dados é realizada manualmente.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

19. 18) Em sua área de atuação, os dados coletados são processados e transformados em informações que permitem oferecer produtos ou serviços personalizados? *

* Onde 4 corresponde que todos os dados coletados são transformados em informações específicas para gestão do processo, melhoria do produto ou atendimento do cliente e 0 que nenhum dado coletado é utilizado desta maneira.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

20. 19) Em sua área de atuação, os dados coletados ao longo da cadeia de valor são processados e transformados em informações que auxiliam no processo de tomada de decisão? *

* Onde 4 corresponde que as informações obtidas através da coleta de dados permitem simular diversos cenários para tomada de decisão e 0 que os dados coletados não auxiliam no processo de tomada de decisão.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

21. 20) Robôs colaborativos referem-se a equipamentos com sensores de percepção de movimento, desenvolvidos para auxiliar ou executar tarefas normalmente atribuídas a seres humanos. Qual nível de implementação desta tecnologia em sua área de atuação? *

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

22. 21) Em sua área de atuação, tarefas são executadas através da utilização de robôs? *

* Onde 4 corresponde a tarefas complexas, realizadas automaticamente sem a supervisão do indivíduo, 1 representa a execução de tarefas simples, operadas ou supervisionadas por uma pessoa e 0 corresponde a nenhuma utilização da robótica.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

23. 22) A impressão 3D (Manufatura Aditiva) refere-se a modelos físicos desenvolvidos por intermédio da impressão de dados, que podem ser produtos completos ou partes deles, provenientes de um modelo virtual, sendo fabricados diretamente por meio da impressão. Qual nível de implementação desta tecnologia em sua área de atuação? *

*Onde 4 corresponde a impressão do produto completo, 1 corresponde à impressão de partes de um produto ou máquina e 0 corresponde a nenhuma utilização de impressão 3D.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

24. 23) A tecnologia de Realidade Aumentada permite sobrepor e/ou combinar objetos reais e virtuais em um ambiente real, oferecendo aos usuários uma percepção de profundidade, distância, posição e tamanho dos objetos. Qual o nível de implementação desta tecnologia em sua área de atuação? *

* Onde 4 corresponde ao desenvolvimento de produtos, serviços, produção e treinamento, 1 corresponde a um recurso interativo em produtos ou propaganda e 0 corresponde a nenhuma utilização de Realidade Aumentada.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

25. 24) A simulação refere-se à virtualização do processo, produto ou sistema de produção, gerada por computador, incluindo etapas de fabricação, materiais utilizados, produtos, máquinas, movimentos e até pessoas. Qual o nível de implementação desta tecnologia em sua área de atuação? *

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

26. 25) Em sua área de atuação, a tecnologia de simulação é utilizada para desenvolver um protótipo virtual de um produto, simulando, por exemplo, design, modelagem, movimentos e aplicação? *

* Onde 4 corresponde a total desenvolvimento e análise de produto por meio de simulações virtuais e 0 nenhuma tecnologia de simulação virtual utilizada.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

27. 26) Em sua área de atuação, a tecnologia de simulação é utilizada para simular cada etapa de seu processo, permitindo visualizar diferentes cenários para tomadas de decisão? *

* Onde 4 corresponde a simulação virtual de todas etapas do seu processo, permitindo simular diversos cenários para tomada de decisão e 0 nenhuma simulação realizada.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

28. 27) A tecnologia de simulação é utilizada para criar uma cópia virtual de seu processo, sincronizando o sistema teórico com a realidade e vice-versa, através de dados coletados em tempo real? *

* Onde 4 corresponde a criação de uma cópia virtual do processo, simulando em tempo real todas as atividades realizadas e 0 a nenhuma utilização da tecnologia de simulação nos processos produtivos.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

29. 28) A integração vertical dos sistemas de informação refere-se a conexão dos sistemas internos de informação, (ERP, MES, CAD, SCADA, PLM)**, onde dados referentes a recursos, máquinas e processos estão completamente integrados, proporcionando uma visão sistêmica e atuação coordenada dos processos na empresa. Qual o nível de implantação desta tecnologia em sua área de atuação? *

* Onde 4 corresponde a total integração com os sistemas de informação internos da fábrica e 0 a nenhuma integração. **ERP - Planejamento dos Recursos da Empresa; MES - Sistema de Execução da Manufatura; CAD - Desenvolvimento e criação assistido por computador; SCADA - Sistemas de Coleta e Aquisição de Dados; PLM - Gestão do Ciclo de vida do Produto.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

30. 29) A integração horizontal dos sistemas de informação refere-se à conexão de sistemas de informação externos à fábrica (SCM, CRM, PLM)**, onde informações e dados referentes a cadeia de valor podem ser compartilhados, promovendo colaboração entre a fábrica, fornecedores e clientes. Qual o nível de implementação desta tecnologia em sua área de atuação? *

* Onde 4 corresponde a total integração com os sistemas de informação externos a fábrica e 0 a nenhuma integração. ** SCM - Gestão da Cadeia de Suprimentos; CRM - Gestão do Relacionamento com os Clientes; PLM - Gestão do Ciclo de vida do Produto.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

31. 30) A tecnologia de cibersegurança emprega um conjunto de ferramentas, técnicas, políticas e ações com objetivo de proteger dados, informações, serviços e sistemas de uma organização das ameaças cibernéticas. Qual o nível de introdução desta tecnologia em sua área de atuação? *

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

32. 31) Em sua área de atuação, qual o nível de concretização de soluções que visam a segurança dos dados armazenados internamente ou na nuvem? *

* Onde 4 corresponde a mecanismos efetivos de controle de acesso e proteção da rede garantindo total segurança dos dados armazenados a e 0 a nenhuma segurança.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

33. 32) Em sua área de atuação, qual o nível de implementação de soluções que visam garantir a integridade, autenticidade e privacidade dos dados compartilhados dentro e fora da empresa? *

* Onde 4 corresponde a implementação de firewalls, assinaturas digitais, criptação e redes privadas e 0 a nenhuma técnica implementada que garanta a segurança dos dados.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

34. 33) Em sua área de atuação, qual o nível de implementação de soluções que visam garantir a disponibilidade e o funcionamento correto dos serviços digitais utilizados através da internet para criar, produzir ou comercializar produtos? *

* Onde 4 corresponde a implementação de firewalls, assinaturas digitais, encriptação e redes privadas e 0 a nenhuma técnica implementada que garanta a segurança dos serviços digitais.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

Estratégia

As questões desta seção têm como objetivo verificar se o projeto de implementação da Indústria 4.0 está alinhado ao planejamento estratégico da empresa.

35. 34) Na sua percepção, quão próximos do conceito da Indústria 4.0 estão os processos em sua área de atuação?

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

36. 35) Assinale quais destes processos em sua área de atuação introduziram tecnologias da Indústria 4.0 e em que nível de maturidade se encontram? *

Marque todas que se aplicam.

	0	1	2	3	4
Pesquisa e desenvolvimento de produto	<input type="checkbox"/>				
Produção	<input type="checkbox"/>				
Logística e suprimentos de materiais	<input type="checkbox"/>				
Gestão e controle do processo	<input type="checkbox"/>				
Segurança das informações	<input type="checkbox"/>				
Comércio de produtos	<input type="checkbox"/>				

37. 36) Em sua área de atuação, existe a intenção de se investir nas áreas apresentadas a seguir, nos próximos 5 anos, visando caminhar na direção da implementação da Indústria 4.0? Em caso afirmativo, assinale um ou mais das áreas específicas e assinale qual o nível de investimento projetado. *

% de investimento sobre os lucros nos próximos 5 anos.

Marque todas que se aplicam.

	0 - (Nenhum)	1 - (Até 5%)	2 - (5 a 10%)	3 - (10 a 15%)	4 - (-15%)
Pesquisa e desenvolvimento de produto	<input type="checkbox"/>				
Produção	<input type="checkbox"/>				
Logística e suprimentos de materiais	<input type="checkbox"/>				
Gestão e controle do processo	<input type="checkbox"/>				
Segurança das informações	<input type="checkbox"/>				
Comércio de produtos	<input type="checkbox"/>				

38. 37) Em sua área de atuação, qual o nível de acompanhamento sobre o progresso dos projetos de implementação da Indústria 4.0 implantados*? *

*Onde 4 refere-se à existência de cronogramas de implementação e investimentos, avaliações do retorno do capital investido e indicadores de desempenho e 0 a nenhum acompanhamento efetivo sobre os projetos em andamento.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

Habilidades digitais

As questões desta seção buscam identificar o nível de conhecimento das pessoas da empresa sobre temas relacionados à tecnologias digitais utilizadas no processo de manufatura.

39. 38) Qual seu nível de conhecimento sobre o tema Indústria 4.0*?

*Onde 4 corresponde a total clareza sobre tecnologias componentes, oportunidades, benefícios e desafios e 0 nenhum conhecimento.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

40. 39) Qual o nível de suas habilidades e conhecimentos quando se trata da utilização de recursos de infraestrutura em Tecnologia de Informação, como hardware, software, configurações de rede, acesso remoto e virtual?

*Onde 4 corresponde a total clareza sobre tecnologias componentes, oportunidades, benefícios e desafios e 0 nenhum conhecimento.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

41. 40) A automação industrial refere-se à utilização de sistemas eletrônicos, como sensores e atuadores, para que os equipamentos executem e controlem o processo de produção automaticamente. Qual seu nível de conhecimento sobre o tema?

*Onde 4 corresponde a total clareza sobre tecnologias componentes, oportunidades, benefícios e desafios e 0 nenhum conhecimento.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

42. 41) Como você avalia suas habilidades e conhecimentos quando se trata da utilização de tecnologias e ferramentas de processamento e análise de dados, como Business Intelligence e Big Data?

*Onde 4 corresponde a total clareza sobre tecnologias componentes, oportunidades, benefícios e desafios e 0 nenhum conhecimento.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

43. 42) Qual o nível de suas habilidades quando se trata da utilização de tecnologias e ferramentas voltadas à segurança e proteção de dados e informações (criptografia, firewall, certificados e assinaturas digitais)?

*Onde 4 corresponde a total clareza sobre tecnologias componentes, oportunidades, benefícios e desafios e 0 nenhum conhecimento.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

Benefícios da implementação do conceito de indústria 4.0

Os benefícios propostos pela implementação das práticas e tecnologias da Indústria 4.0 são os responsáveis por caracterizá-la como a quarta revolução industrial. Portanto, as questões desta seção têm como objetivo verificar se estes benefícios são percebidos na empresa participante deste processo de avaliação.

44. 43) Os benefícios propostos pela Indústria 4.0 são: personalização em massa, flexibilidade, tomadas de decisão com base em dados atualizados, maior produtividade, novos modelos de negócios e o equilíbrio entre a vida pessoal e o trabalho. Qual nível observado dos benefícios propostos em sua empresa? *

*Onde 4 corresponde a projetos maduros e sólidos, benefícios e retornos econômicos são claros e mensuráveis e 0 nenhum benefício proposto é observado.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

45. 44) A "Personalização em massa" refere-se a atender os requisitos individuais de cada cliente, produzindo itens únicos de acordo com seus desejos, sem que a lucratividade do processo seja afetada. Qual nível de desenvolvimento deste benefício em sua empresa? *

*Onde 4 que todos os produtos produzidos são desenvolvidos ou podem ser adaptados segundo critérios e características estabelecidos pelo cliente e 0 que nenhum produto produzido é desenvolvido ou pode ser adaptado segundo critérios e características estabelecidos pelo cliente.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

46. 45) A Flexibilidade das linhas de produção proposta pela Indústria 4.0 é baseada nos sistemas Ciberfísicos de Produção (CPS), onde, uma rede global conecta processos, máquinas e dispositivos de uma indústria, permitindo-a responder rapidamente às variações de demanda, alterações no produto ou processo. Qual nível de desenvolvimento deste benefício em sua empresa? *

*Onde 4 corresponde a uma fábrica totalmente inteligente, que percebe e prevê mudanças na demanda, nos produtos e nos processos ajustando-se autonomamente e 0 corresponde a nenhuma flexibilidade, os processos são estáticos e imutáveis.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

47. 46) A implementação do conceito de Indústria 4.0 possibilita Tomadas de decisão otimizadas, tanto no contexto da fabricação quanto dos negócios, baseadas em dados provenientes de todas as etapas da cadeia de valor, em tempo real. Qual nível de desenvolvimento deste benefício em sua empresa? *

*Onde 4 corresponde a tomadas decisão baseadas em dados coletados ao longo de todo processo em tempo real e 0 corresponde a tomadas decisão baseadas em nenhuma informação ou informação desatualizada do processo.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

48. 47) Produtividade e eficiência na utilização dos recursos são características resultantes da maturidade das tecnologias digitais de manufatura, componentes da Indústria 4.0, que permitem a otimização dos processos de produção por intermédio da automação, padronização e integração tecnológica. Qual nível de desenvolvimento destes benefícios em sua empresa? *

*Onde 4 corresponde a ganhos claros e expressivos em produtividade ou em economia de recursos através da maturidade das tecnologias digitais de manufatura e 0 corresponde a nenhum ganho de produtividade ou economia de recursos após a maturidade das tecnologias digitais de manufatura.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

49. 48) A Indústria 4.0, como um dos seus principais benefícios, traz a possibilidade da criação de novos modelos de negócios, baseados na oferta de serviços mediante utilização de plataformas e outras tecnologias digitais. Qual nível de desenvolvimento deste benefício em sua empresa? *

*Onde 4 corresponde a uma fábrica onde seu principal produto são os serviços oferecidos aos clientes através de plataformas digitais e 0 corresponde a nenhum tipo de serviço oferecido como produto aos clientes.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				

50. 49) O Equilíbrio entre o trabalho e o bem estar dos colaboradores é também um dos benefícios propostos no conceito de Indústria 4.0, onde seu modelo de produção é principalmente fundamentado no uso da tecnologia, permitindo a flexibilização do trabalho, de modo a atender às necessidades e restrições dos colaboradores. Qual nível de desenvolvimento deste benefício em sua empresa? *

*Onde 4 corresponde a produção completamente autônoma, onde os colaboradores são apenas desenvolvedores e analista de otimização nos processos produtivos e 0 corresponde a nenhuma mudança em relação autonomia produtiva, toda produção depende exclusivamente da presença física e atuação dos colaboradores.

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4
<input type="radio"/>				