



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS BLUMENAU  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA TÊXTIL

Rafael Fernando Petri

**Título:** Diagnóstico da Aplicação de Sistema Ciber-Físico de Produção  
na indústria Têxtil e Vestuário de Santa Catarina

Blumenau  
2022

Rafael Fernando Petri

**Título:** Diagnóstico da Aplicação de Sistema Ciber-Físico de Produção  
na indústria Têxtil e Vestuário de Santa Catarina

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Têxtil da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do título de mestre em Engenharia Têxtil.

Orientador: Prof. Dr. Antônio A. U. de Souza

Coorientadoras: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Julia Dal Forno e  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Liane Mählmann Kipper

Blumenau

2022

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

Petri, Rafael Fernando

Diagnóstico da Aplicação de sistema ciberfísico de produção na indústria têxtil e vestuário de Santa Catarina / Rafael Fernando Petri ; orientador, Antônio Augusto Ulson de Souza, coorientador, Ana Julia Dal Forno, coorientador, Liane Mählmann Kipper, 2023.

129 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Têxtil. 2. Indústria têxtil. 3. Sistemas ciberfísicos. 4. Indústria 4.0. 5. CPPS. I. Souza, Antônio Augusto Ulson de. II. Dal Forno, Ana Julia. III. Kipper, Liane Mählmann IV. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil. V. Título.

Rafael Fernando Petri

**Diagnóstico da Aplicação de Sistema Ciber-Físico de Produção  
na indústria Têxtil e Vestuário de Santa Catarina**

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 16 de novembro de 2022, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.<sup>a</sup> Rosiane Serrano, Dr.<sup>a</sup>.

Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Prof. Carlos Moratelli, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

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.

---

Prof.<sup>a</sup> Rita de Cássia Siqueira Curto Valle, Dr.<sup>a</sup>.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

---

Prof. Antônio Augusto Ulson de Souza, Dr.

Orientador

Blumenau, 2023

## RESUMO

Este trabalho tem o objetivo diagnosticar a aplicação de Sistema Ciber-Físico de Produção da Indústria 4.0 na indústria Têxtil e Vestuário, apoiado nas Tecnologias da Informação e Comunicação como: *Big Data*; Internet das Coisas; Sistemas de Execução de Manufatura; entre outros, além de medir o nível de adoção destas tecnologias. A metodologia foi a revisão da literatura nas bases SCOPUS, *Science Direct* e *Web of Science* combinado os temas Sistemas Ciber-Físicos e indústria Têxtil e Vestuário para identificar a aplicação de Sistemas Ciber-Físicos neste segmento da indústria. Também foi realizado um questionário aplicado aos gestores da área de planejamento da manufatura em 61 empresas. Após a coleta de dados, foi avaliado o nível da implantação de Sistemas Ciber-Físicos de Produção bem como as dificuldades encontradas. Foi proposto um modelo matemático de regressão logística no software SPSS da IBM® para identificar as variáveis de adaptabilidade das empresas à Sistemas Ciber-Físicos de Produção nas indústrias Têxtil e Vestuário em Santa Catarina. Os resultados encontrados mostram que é baixo o nível de aplicação de Sistemas Ciber-Físicos, entretanto alguns benefícios foram evidenciados como o monitoramento em tempo real da manufatura e as maiores dificuldades são a heterogeneidade dos processos e o alto custo da tecnologia. Foi identificado também as variáveis mais significativas para a implantação de um Sistema Ciber-Físico de Produção nas indústrias de acordo com o modelo matemático proposto com 75,4% de acertos de previsão. Neste sentido, este estudo auxiliará a compreender o cenário atual das indústrias do ramo Têxtil e Vestuário que buscam se adequar a realidade da Indústria 4.0 a partir de Sistemas Ciber-Físicos.

**Palavras-chave:** Indústria têxtil, Indústria 4.0, Sistemas Ciber-Físicos de Produção.

## **ABSTRACT**

*This work aims to diagnose the application of the Industry 4.0 Cyber-Physical Production System in the Textile and Apparel industry, supported by Information and Communication Technologies such as: Big Data; Internet of Things; Manufacturing Execution Systems; among others, in addition to measuring the level of adoption of these technologies. The methodology was a literature review on the SCOPUS, Science Direct and Web of Science bases, combining the themes Cyber-Physical Systems and Textile and Apparel industry to identify the application of Cyber-Physical Systems in this industry segment. A questionnaire was also applied to managers of the manufacturing planning area in 61 companies. After data collection, the level of implementation of Cyber-Physical Production Systems was evaluated, as well as the difficulties encountered. A mathematical model of logistic regression was proposed in the IBM® SPSS software to identify the adaptability variables of companies to Cyber-Physical Production Systems in the Textile and Apparel industries in Santa Catarina. The results found show that the level of application of Cyber-Physical Systems is low, however some benefits were evidenced as the real-time monitoring of the manufacturing and the biggest difficulties are the heterogeneity of the processes and the high cost of the technology. It was also identified the most significant variables for the implantation of a Cyber-Physical Production System in the industries according to the proposed mathematical model with 75.4% of prediction successes. In this sense, this study will help to understand the current scenario of the Textile and Clothing industries that seek to adapt to the reality of Industry 4.0 based on Cyber-Physical Systems.*

**Keywords:** *Textile industry, Industry 4.0, Cyber-Physical Production Systems.*

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer e dedicar esta dissertação as seguintes pessoas:

Ao meu Deus que me deu graças para realizar este trabalho e forças para enfrentar todos os obstáculos.

A minha família, esposa Dayana e minha filha Isabela que compreenderam o tempo que dediquei a realização deste trabalho.

Aos meus orientadores Dr. Antônio Augusto, Dr. Ana Julia e Dr. Liane que me direcionaram nesta trajetória.

Aos professores Dr. Rodrigo Cardoso e Dr. Nelson Hein que de alguma maneira me ajudaram compartilhando seus conhecimentos.

E aos meus colegas que fiz na universidade ao longo deste período que de alguma maneira contribuíram para a construção deste conhecimento.

Aos amigos Tiago Gerhke, Gilmara Oescheler e demais amigos que me apoiaram e vibraram comigo nesta caminhada.

E em especial aos meus pais, que sempre me incentivaram aos estudos, mas infelizmente já não estão mais entre nós para comemorar mais essa conquista.

A todos, muitíssimo obrigado. Sem estes eu jamais teria conseguido escrever esta dissertação.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição de empresas têxteis e vestuário do ano 2020 .....	17
Figura 2 – Manufatura como centro do sistema produtivo .....	22
Figura 3 –Diagrama de interdependências das tecnologias.....	24
Figura 4 – Evolução da indústria .....	26
Figura 5 – Controle remoto do transportador pela rede .....	31
Figura 6 – Algumas áreas de aplicação do SCF além da manufatura .....	33
Figura 7 – Camadas típicas do SCF .....	34
Figura 8 – A Indústria 4.0 e sua relação com SCF e IoT na manufatura.....	35
Figura 9 – Arquitetura 5C para implementação de um SCF.....	37
Figura 10 – Fluxo de informações com base na arquitetura 5C do SCF .....	38
Figura 11 – Modelo de maturidade SCF .....	38
Figura 12 – Hierarquia de programação.....	42
Figura 13 – Funcionalidades do SEM .....	45
Figura 14 – Camadas e ambiente de um SEM.....	45
Figura 15 – Estrutura analítica de um PCP inteligente.....	47
Figura 16 – Visão geral do <i>Digital Twin</i> de chão de fábrica .....	48
Figura 17 – Arquitetura do Sistema .....	49
Figura 18 – Diagrama do SCFP da fiação.....	50
Figura 19 – Estrutura do SCFP de uma fiação.....	51
Figura 20 – Diagrama da comunicação <i>blockchain</i> .....	52
Figura 21 – Arquitetura geral do sistema .....	53
Figura 22 – Etapas do programa de auto-otimização.....	55
Figura 23 – Sistema de apoio à decisão para programação de tingimento.....	56
Figura 24 – Máquinas de Tingimento .....	57
Figura 25 – <i>Gateway</i> CPES .....	57
Figura 26 – Configuração do sistema.....	58
Figura 27 – Peças cortadas e com as <i>tags</i> IDRF incorporadas .....	60
Figura 28 – Máquinas de costura com leitor de etiquetas IDRF.....	60
Figura 29 – Diagrama da fábrica virtual .....	61
Figura 30 – Digitalização do processo de Tecido Não Tecido.....	64
Figura 31 – Estrutura do Sistema Ciber-Físico para máquinas autoconscientes .....	67
Figura 32 – Fluxo Metodológico .....	70

Figura 33 – Artigos encontrados .....	73
Figura 34 – Quantidades de respostas .....	77
Figura 35 – Roteiro do questionário .....	78
Figura 36 – Gráfico da função logística.....	82
Figura 37 – Tela de dados inseridos no SPSS.....	84
Figura 38 – Visualização da configuração das variáveis.....	84
Figura 39 – Carregamento das variáveis independentes e dependente .....	85
Figura 40 – Configurações das opções.....	85
Figura 41 – Representatividade das empresas por porte.....	86
Figura 42 – Dados informacionais – Idade X Grau de Instrução.....	87
Figura 43 – Dados informacionais – Setor X Experiência .....	87
Figura 44 – Processos internalizados .....	88
Figura 45 – Processos terceirizados .....	89
Figura 46 – Planejamento da fábrica usando o SIGE .....	90
Figura 47 – Emissão das Ordens Produção.....	91
Figura 48 – Destino das Ordens de Produção .....	91
Figura 49 – Sistema utilizado no PCP.....	92
Figura 50 – Lógica de Programação da Produção.....	93
Figura 51 – Conhecimento de tecnologias relacionadas ao SCFP .....	94
Figura 52 – Utilização da tecnologia IDRF .....	94
Figura 53 – Utilização de sistema de monitoramento.....	95
Figura 54 – Setores da empresa monitoradas .....	96
Figura 55 – Características do sistema.....	97
Figura 56 – Função do sistema .....	98
Figura 57 – Vantagens do sistema.....	98
Figura 58 – Dificuldades de implantação .....	99
Figura 59 – Exemplos de aplicação de sucesso .....	100
Figura 60 – Implantação do sistema futuramente .....	101
Figura 61 – Barreiras para implantação do sistema .....	101
Figura 62 – Percepção da Indústria 4.0 .....	102
Figura 63 – Participação em pesquisa .....	103

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo dos artigos da revisão de literatura – Parte 1 .....	65
Quadro 2 – Resumo dos artigos da revisão de literatura – Parte 2 .....	66
Quadro 3 – <i>Strings</i> de busca com base nas palavras chaves.....	72
Quadro 4 – Dados dos artigos da revisão de literatura .....	73
Quadro 5 – População de empresas .....	76
Quadro 6 – Constructo – Parte 1.....	79
Quadro 7 – Constructo – Parte 2.....	80
Quadro 8 – Resumo do modelo .....	103
Quadro 9 – Testes de coeficientes de modelo Omnibus.....	104
Quadro 10 – Teste de Hosmer e Lemeshow.....	104
Quadro 11 – Classificação Previsto X Observado.....	104
Quadro 12 – Variáveis na equação .....	105

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SAP – Sistema Avançado de Programação  
CLP – Controlador Lógico Programável  
SCFP – Sistema Ciber-Físico de Produção  
CPS – *Cyber-Physical Systems*  
CVG – Cadeia de Valor Global  
SIGE – Sistema Integrado de Gestão Empresarial  
FIESC – Federação das Indústrias de Santa Catarina  
IoT – *Internet of Things* (Internet das Coisas)  
SEM – Sistemas de Execução de Manufatura  
OPs – Ordens de Produção  
PCP – Planejamento e Controle da Produção  
PME – Pequenas e Médias Empresas  
IDRF – Identificação por Rádio Frequência  
SCF – Sistemas Ciber-Físicos  
SPSS – *Statistical Package for the Social Sciences*  
TI – Tecnologia da Informação  
TIC – Tecnologia da Informação e Comunicação  
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA .....	16
1.2	JUSTIFICATIVA.....	18
1.3	OBJETIVOS GERAL.....	20
<b>1.3.1</b>	<b>Objetivo Específicos.....</b>	<b>20</b>
1.4	BRIEFING.....	20
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>22</b>
2.1	SISTEMA CIBER-FÍSICO DE PRODUÇÃO .....	23
2.2	QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL .....	24
2.3	TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TIC).....	28
2.4	SISTEMAS DE INFORMAÇÃO PARA A MANUFATURA.....	40
2.5	SISTEMA CIBER-FÍSCOS PARA A MANUFATURA.....	43
2.6	APLICAÇÃO DE SCF NA INDÚSTRIA TÊXTIL E VESTUÁRIO .....	48
<b>2.6.1</b>	<b>Aplicação de SCF em fiação</b> .....	<b>49</b>
<b>2.6.2</b>	<b>Aplicação de SCF em tecelagem</b> .....	<b>53</b>
<b>2.6.3</b>	<b>Aplicação de SCF no tingimento</b> .....	<b>55</b>
<b>2.6.4</b>	<b>Aplicação de SCF em confecção</b> .....	<b>58</b>
<b>2.6.5</b>	<b>Demais aplicações de SCF na indústria têxtil</b> .....	<b>62</b>
2.7	DESAFIOS E OPORTUNIDADES NA IMPLANTAÇÃO DO SCF .....	66
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>70</b>
3.1	REVISÃO DA LITERATURA.....	71
3.2	INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO POR QUESTIONÁRIO ( <i>SURVEY</i> ) .....	74
3.3	REGRESSÃO LOGÍSTICA .....	81
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>86</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>106</b>
5.1	LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	110
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>111</b>
	<b>ANEXO A</b> .....	<b>119</b>
	<b>ANEXO B</b> .....	<b>120</b>
	<b>APÊNDICE A</b> .....	<b>121</b>
	<b>APÊNDICE B</b> .....	<b>127</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As fortes pressões competitivas para se gerenciar uma empresa e reduzir os *lead times* de entrega são motivadas pela globalização da economia mundial, pelas tecnologias em desenvolvimento acelerado, pelos concorrentes competentes, pelos clientes cada vez mais exigentes entre outros. Estes fatores requerem das organizações objetivos estratégicos e trabalhos táticos para a redução de custos e melhores níveis de produtividade (CORRÊA; CORRÊA, 2017).

Os produtos têxteis, numa visão global, tendem a aumentar a demanda devido ao fato que o crescimento populacional e o desenvolvimento econômico estão aumentando constantemente, e esse crescimento necessita de mais recursos causando enormes desafios socioambientais. Para solucionar esses desafios requer-se uma combinação de diferentes medidas para redução desses impactos, dentre elas o aumento da excelência operacional nos processos produtivos têxteis (SANDIN; PETERS, 2018).

O desenvolvimento gradual dos processos têxteis ao longo da história permitiu o uso de artigos têxteis em vários segmentos da sociedade, isto graças a inúmeras inovações feitas desde a revolução industrial. O desenvolvimento tecnológico e a competição internacional moldaram a indústria e continuam a afetar a produção até os dias de hoje. Assim, uma das grandes preocupações do setor têxtil são as suas complexas redes de cadeias de abastecimento que lidam com diversas matérias-primas e operações. Os elementos como o ciclo de vida do produto, o histórico de produção, rastreabilidade de matérias-primas, dados de logística, gestão de estoque, melhor equilíbrio demanda-produção além da melhoria na administração organizacional são alguns exemplos dessas preocupações (SCHWARZ; KOVAČEVIĆ, 2017), (KUMAR *et al.*, 2017).

O setor têxtil é relevante para a economia brasileira e está presente há quase 200 anos no país, além de ser uma fonte de emprego e renda para 1,36 milhões de pessoas no país e que vem crescendo economicamente nos últimos anos. Mas, apesar do potencial produtivo e por ser um setor tradicional dentro da economia interna, a maior parte da produção vai para o mercado interno e é pouco representativo no mercado de exportação (ABIT, 2020).

Neste competitivo ambiente de negócios de hoje, as empresas tentam fornecer aos clientes produtos e serviços de maneira mais rápida e econômica do que

seus concorrentes. As operações de manufatura modernas necessitam atender à demanda cada vez maior, customização em massa, sistemas de manufatura preditivos e capacidade de resposta da produção, exigindo portanto, sistemas de informações eficientes e integrados (CORONADO *et al.*, 2018) e (BABAEI *et al.* 2015).

Os avanços tecnológicos das últimas décadas abriram caminhos para mudanças importantes na sociedade e na indústria. A relação entre as organizações e a população em geral vêm se tornando bastante dinâmica, devido às transformações impostas pelas novidades tecnológicas, que vão sendo incorporadas pelo público. As Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) têm a capacidade de ampliar o acesso à informação e o poder de escolha do consumidor (AUNE, 2017).

Por outro lado, estas mesmas tecnologias também se apresentam como novos desafios entre as empresas em busca de vantagens mercadológicas e relevância, levando o setor industrial a se atualizar e adotar as principais tendências do mercado com relação aos sistemas de gestão de processos e automação comercial. Neste sentido, pode-se destacar a implementação da Indústria 4.0 como estratégia desta busca (HELFER *et al.*, 2021).

A Indústria 4.0 pode ser descrita como quarta etapa da revolução industrial, pela sua capacidade de promover o desenvolvimento econômico e a competitividade a partir da inovação. Deste modo, a Indústria 4.0 traz consigo a oportunidade de agregar diversas tecnologias que trazem uma contribuição para a automação e a digitalização de processos, contribuindo assim para o surgimento de modelos produtivos mais eficientes. Entretanto, muitos processos dentro da indústria têxtil ainda são de forma manual, sujeito a erros e desperdícios indesejáveis (PETRI *et al.*, 2021a).

Ao longo da história houveram vários marcos no desenvolvimento de computadores e tecnologia da informação. Os computadores *mainframe* apareceram nas décadas de 1960 e 1970, logo em seguida entre 1980 e 1990, a internet e os computadores de mesa foram criados para administrar negócios pessoais e comerciais. A partir do ano de 2000, surgiram computadores cada vez mais poderosos e rápidos, realizando cálculos a qualquer hora e em qualquer lugar. Todos estes eventos tiveram um impacto fundamental no desenvolvimento da sociedade da informação e a partir dessa evolução computacional, mais atenção tem se voltado para a utilização de Sistema Ciber-Físico - SCF (SONG *et al.*, 2009).

Os Sistemas Ciber-Físicos (SCF) são formados por duas camadas: camadas de tecnologia operacional (física) e camada virtual, de aplicações de tecnologia de informação (ciber). O SCF está recebendo amplos interesses de pesquisa cobrindo um amplo espectro de assuntos, como design industrial, tecnologias industriais, ciência da computação, engenharia elétrica e assim por diante. Embora Sistemas Ciber-Físicos comumente existam tanto no domínio industrial quanto na vida diária humana, essa tecnologia emergente, deve oferecer soluções promissoras para transformar a operação e a função de muitos sistemas industriais existentes (SACOMANO *et al.*, 2018), (JIANG *et al.*, 2018), (LU, 2017).

Este novo cenário vem contribuindo para ampliar redes de comunicação e de negócio, levando o processo da globalização a um novo patamar. Para que a internet possa ser utilizada a favor dos processos produtivos, é necessário um conhecimento aprofundado de seus recursos, para que possa ser utilizado da maneira correta e de acordo com as necessidades de cada empresa. Deste modo, a internet trouxe praticidade, velocidade e confiabilidade para a troca de informações, permitindo assim que gestores das empresas possam tomar melhores decisões dentro de uma proposta de gestão estratégica, por meio de softwares, equipamentos e plataformas de gerenciamento. Além disso, aplicações de Inteligência Artificial no SCF suportam a integração de tarefas de controle do Programação e Controle da Produção - PCP, tais como: liberação e sequenciamento de pedidos, controle de capacidade produtiva e planejamento de manutenção das máquinas e equipamentos (FRANCHON, 2009), (BUENO *et al.* 2020), (JUNIOR *et al.*, 2015).

As pesquisas sobre usos de SCF estão ainda muito no começo, principalmente nas indústrias têxteis brasileiras. Como o SCF é a integração de sistemas heterogêneos multidisciplinares, sem um modelo global unificado, as pesquisas do SCF são realizadas por especialistas em várias áreas sob a perspectiva de aplicações em seu próprio campo. Atualmente, as pesquisas do SCF se concentram principalmente em estudos de arquitetura de sistema, processamento de informações, design de software, tecnologias sustentáveis, inteligentes e de detecção sustentando processos de tomada de decisão administrativas em uma empresa baseados em dados em tempo real (ANDRONIE *et al.*, 2021), (PETRI *et al.*, 2021b), (MAZZAFERRO, 2018).

Acrescenta-se ainda que a função do SCF é controlar o *feedback* de máquinas em um sistema de computador integrado e amplamente distribuído, combinando

informações, comunicações e tecnologias de controle. O SCF tem muitas aplicações, incluindo equipamentos médicos digitais e sistemas automatizados de tecnologias de controle, sistemas de distribuição de energia, aviação e controles de aeronaves e vetores de controle industrial. O SCF também pode trazer benefícios econômicos significativos e acabará por levar a uma mudança fundamental na funcionalidade dos sistemas (LEE, 2007), (LEE *et al.* 2015), (HE, 2010), (RAJKUMAR, 2012).

Em uma fábrica da Indústria 4.0, as máquinas estão conectadas como uma comunidade colaborativa, ou seja, é um conjunto abrangente de tecnologias emergentes que estabelecem uma perspectiva industrial baseada na Internet das Coisas (IoT). Tal evolução requer a utilização de ferramentas de previsão antecipada, para que os dados possam ser sistematicamente processados em informações para explicar as incertezas e, assim, tomar decisões melhor embasadas. As inovações de manufatura e serviços baseadas no SCF são duas tendências e desafios inevitáveis para as indústrias de manufatura. Como a manufatura inteligente está no centro do conceito, Planejamento e Controle da Produção da Indústria 4.0 deve desempenhar um papel fundamental nas atividades da Indústria 4.0 (BUENO *et al.* , 2020), (LEE *et al.* , 2014).

### 1.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A indústria 4.0 traz inúmeros benefícios e altera o modo de produzir e entregar bens e serviços, entretanto para que este processo possa ocorrer nas organizações, há a necessidade de se construir uma base sustentável para obtenção destes ganhos. Neste contexto, os Sistemas Ciber-Físicos, a Internet das Coisas e o *Big Data* precisam estar consolidados. Entretanto, tais tecnologias tem sido objeto de estudo que evidenciam como os principais responsáveis da alavancagem da indústria 4.0.

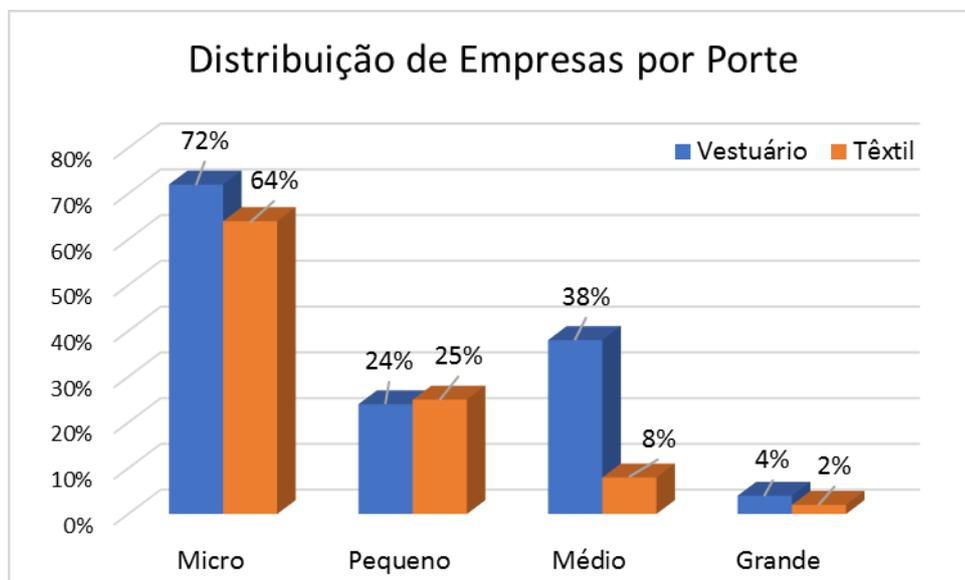
A indústria têxtil é uma das indústrias tradicionais que enfrenta a competição global pela customização em massa para atender às demandas dinâmicas dos clientes. Assim, as empresas do ramo devem atualizar sua inteligência de manufatura, melhorando as operações de processo. Isso aumenta a flexibilidade de decisões e otimiza a produtividade, mantendo a qualidade, personalização e prazos de entrega mais curtos. Além disso, é uma das indústrias de crescimento mais rápido que contribui expressivamente para o desenvolvimento econômico de muitos países,

sendo responsável por uma importante parcela do produto interno bruto, como a Brasil por exemplo (KU *et al.*, 2020), (ŚLUSARCZYK *et al.*, 2019).

Na literatura não é difícil encontrar trabalhos relacionados com a manufatura da indústria têxtil, no entanto, os estudos raramente documentam o papel da Indústria 4.0 no setor de produção e serviços da Indústria Têxtil e Vestuário. Portanto, existe uma lacuna no corpo da literatura.

Mais de 24,6 mil empresas têxteis dos mais diversos portes estão espalhadas por todo Brasil e, empregando aproximadamente 1,36 milhões de trabalhadores, de distintas áreas, entre costureiros, supervisores, especialistas em passar e em acabamento, especialistas em corte e modelagem, engenheiros de diversas modalidades como têxteis, de produção, estilistas, designers, entre outros. Sendo que mais de 60% dos trabalhadores são mulheres. O setor faturou 161 bilhões de dólares em 2020 sendo 1,06 bilhão de dólares para exportações. O setor de confecção produziu 7,93 bilhões de peças e o volume de produção têxtil 1,91 milhões de toneladas em 2020 (ABIT, 2020). A Figura 1 mostra a distribuição das empresas têxteis brasileiras por porte.

Figura 1 - Distribuição de empresas Têxteis e Vestuário do ano 2020



Fonte: Adaptado de CNI/SENAI/SESI/IEL (2022)

Em 2020 a Indústria Têxtil no Brasil foi a segunda maior empregadora da indústria de transformação, perdendo apenas para a de alimentos e bebidas juntas, esteve entre os quatro maiores produtores de malhas do mundo, representou 19,8%

do total de trabalhadores alocados na produção industrial e 5% do valor total da produção da indústria brasileira de transformação. O Brasil detém a maior cadeia têxtil completa do ocidente, abrangendo desde a produção das fibras, como plantação de algodão, até os desfiles de moda, passando por fiações, tecelagens, beneficiadoras, confecções e forte varejo; além de ser uma referência mundial em *design* de moda praia, *jeanswear* e *homewear*, tendo crescido também os segmentos de *fitness* e *lingerie*. A cadeia completa de fabricação têxtil pode ser vista nos Anexos A e B (ABIT, 2020).

Diante da significância desse segmento da indústria brasileira, há oportunidades a serem alcançadas e desafios que precisam ser superados, principalmente no que tange o ambiente da indústria Têxtil e Vestuário, que apesar de contribuir como uma parcela importante de receitas e empregos na economia brasileira, tem-se mostrado atrasada em promover a inovação tecnológica de seus parques fabris e métodos de gestão que irão promover a entrada deste setor no ambiente global da indústria 4.0. Para isto, é necessário identificar a real situação que se encontra o cenário de adaptação das tecnologias e a partir deste diagnóstico, traçar diretrizes para mitigar esta defasagem (KIPPER *et al.*, 2020), (SANTOS *et al.*, 2018), (ABIT, 2020).

Deste modo, surgiu a questão de pesquisa que este trabalho buscou responder: Como o setor Têxtil e Vestuário está se adaptando ao uso das tecnologias voltadas para os Sistemas Ciber-Físicos de Produção?

## 1.2. JUSTIFICATIVA

Este estudo se justifica, pois de forma geral as indústrias brasileiras ainda não dominam os conceitos e as tecnologias relacionadas à proposta da Indústria 4.0. O que pode ser entendido levando em consideração que em sua maioria a indústria brasileira tem como característica as linhas de montagem e forte participação da atividade humana nos fluxos de trabalho. Portanto, este estudo pode contribuir para que a comunidade empresarial brasileira possa compreender o potencial deste conceito, em específico aqueles do ramo Têxtil e Vestuário (PETRI *et al.*, 2021b).

Os sistemas de coleta de dados de produção usando bancos de dados ou

planilhas desenvolvidos no chão de fábrica<sup>1</sup> para monitorar e controlar processos são complexas, considerando adicionalmente o fato que, nos ambientes fabris existem uma variedade de sistemas dificultando a integração de vários softwares diferentes. Fatores comuns como a visibilidade dos processos, a capacidade de torná-los mais responsivos e o fornecimento de recursos de rastreamento e acompanhamento, são, na maioria dos casos, baseadas em informações onde as fontes não são digitalizadas mas somente registradas em papel (UGARTE *et al.*, 2009).

Adicionalmente este estudo se justificou pela compreensão de que o domínio de filosofias de trabalho interligadas entre si, pode representar uma vantagem competitiva importante em um cenário econômico tão incerto e que exige o conhecimento de fenômenos como demandas flutuantes, complexidades projetuais e racionalização dos ciclos de planejamento, entre outras questões. Portanto, foi possível observar que a depender do cenário atual da introdução da proposta da Indústria 4.0, o Brasil pode estar perdendo uma oportunidade de se tornar mais competitivo.

A resposta para esses desafios está na disponibilidade de dados, o que é possível graças à crescente digitalização do chão de fábrica. Para este fim, diversas ferramentas de apoio têm sido desenvolvidas para incrementar qualitativamente as atividades de Programação e Controle da Produção (PCP), o que evidencia que a revolução tecnológica não diz respeito somente ao chão de fábrica, mas também à própria gestão da manufatura. O aumento da digitalização tem um impacto positivo na produtividade: um sistema de manufatura físico pode ser representado em tempo real no mundo digital por meio de sensores de retroalimentação de dados (CORONADO *et al.*, 2018).

Assim, entende-se que este estudo se justificou ao apresentar as tecnologias e *frameworks*, como o conceito de *Big Data*, Sistemas Ciber-Físicos, Internet das Coisas, Sistemas Avançados de Programação, Sistemas de Execução de Manufatura e a interligação entre si. Uma grande abordagem sobre a indústria 4.0 tem sido feita, entretanto, a base dessa nova indústria que é a Internet das Coisas e os Sistemas Ciber-Físicos, precisa ser amplamente implantada e difundida.

---

<sup>1</sup> O termo “chão de fábrica” pode ser descrito como a convergência do fluxo de informações, fluxo de material e fluxo de controle. É a base de um processo industrial onde os processos acontecem de fato e onde a produtividade deve ser constantemente monitorada para que o controle da empresa seja mantido (ZHUANG *et al.*, 2018).

A indústria 4.0 conta principalmente com uma computação autônoma em sua essência e isso tem sido aplicado com sucesso na ciência da computação. Entretanto as máquinas de autoaprendizagem ainda estão longe de serem implementadas nas indústrias atuais (LEE *et al.*, 2014).

Diante desse cenário, identificou-se a necessidade de conhecer de forma mais aprofundada as experiências das empresas no que diz respeito a implementação de Sistemas Ciber-Físicos de Produção, o que permitiu apresentar um panorama mais atualizado do nível de conhecimento e adequação a Indústria 4.0 nas indústrias brasileiras, especificamente aquelas do setor Têxtil e Vestuário. Esses conhecimentos podem ser estratégicos para outros pesquisadores, empresários e a comunidade acadêmica em geral, pois permitem tomadas de decisão mais assertivas.

### 1.3 OBJETIVO GERAL

Diagnosticar a aplicação de Sistema Ciber-Físico de Produção (SCFP) da Indústria 4.0 na indústria Têxtil e Vestuário.

#### 1.3.1 Objetivos Específicos

- a) Identificar na literatura a aplicação de Sistemas Ciber-Físicos em indústrias do segmento Têxtil e Vestuário;
- b) Avaliar o nível de implementação de Sistemas Ciber-Físicos de Produção nas Indústrias Têxtil e Vestuário em Santa Catarina;
- c) Mostrar os segmentos dentro das indústrias do segmento Têxtil e Vestuário com implementação de Sistemas Ciber-Físicos e suas respectivas dificuldades de implantação nas Indústrias Têxtil e Vestuário em Santa Catarina;
- d) Propor um modelo matemático para identificar as variáveis de adaptação das empresas à um Sistema Ciber-Físico de Produção.

### 1.4 BRIEFING

Considerando o exposto, este estudo teve como objetivo diagnosticar a

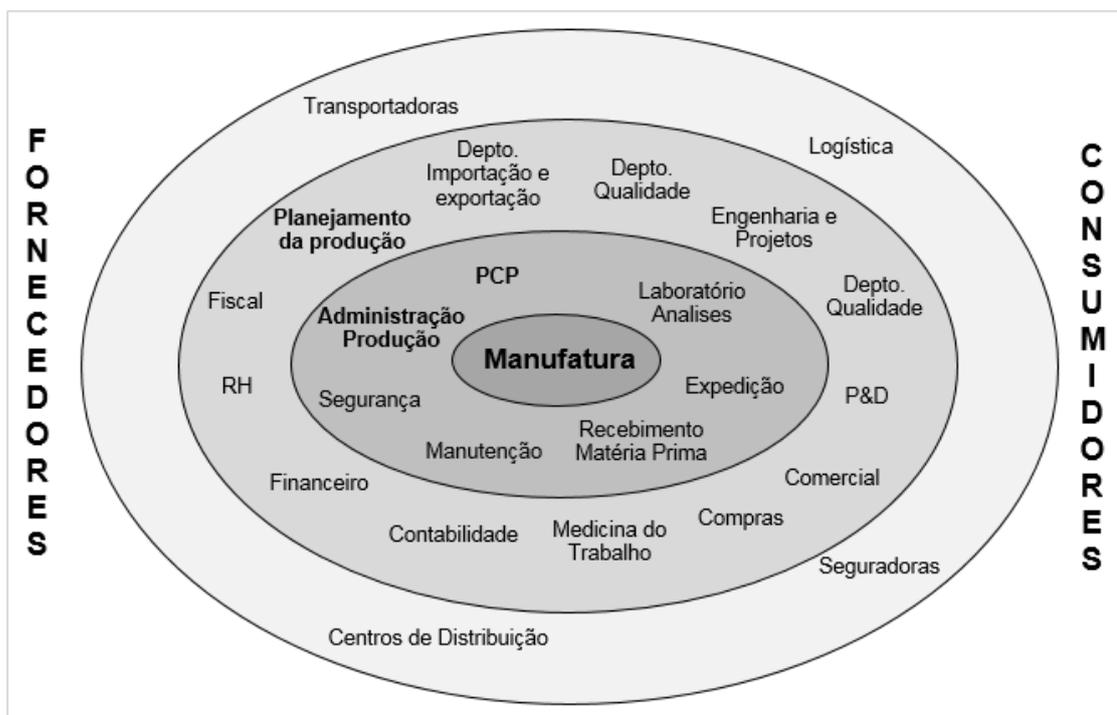
aplicação de Sistema Ciber-Físico de Produção (SCFP) da Indústria 4.0 na indústria Têxtil e Vestuário. Este tema passou pela análise de uma série de conceitos envolvendo Tecnologias da Informação e Comunicação, *Big Data* e Internet das Coisas, entre outros. Além disso, uma revisão da literatura trouxe o estado atual em uma investigação da aplicação de SCF da Indústria 4.0 no setor Têxtil e Vestuário ao redor do mundo e que são apresentados no Capítulo 2 – Fundamentação Teórica. No Capítulo 3 foi exposto a metodologia utilizada para a atingir o objetivo deste trabalho em que foi aplicado um questionário tipo “*survey*” para coleta de dados na área de Programação e Controle da Produção afim de avaliar o nível da implantação do SCFP. Para tratar os dados e propor um modelo de identificação das variáveis de adaptação ao SCFP foi utilizada a ferramenta *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS). No capítulo 4 foi descrito os resultados da aplicação da pesquisa do SCF nas Indústrias Têxteis e Vestuário e trouxe o nível da implantação do SCF, além de apresentar quais os setores com a maior adoção destas tecnologias e suas respectivas dificuldades de implantação.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção serão apresentados os conceitos teóricos que sustentaram este projeto de pesquisa e os assuntos a serem abordados como foco da pesquisa voltados à área da manufatura, as áreas de planejamento e administração como o papel principal de competitividade dentro das indústrias.

Uma empresa precisa ser competitiva, na conquista de nichos de mercado que sejam estratégicos para o setor. Nas decisões gerenciais deve fazer bem seu planejamento e controle de produção além de possuir uma boa logística, entretanto, o desempenho da manufatura ocupa a posição central no sistema produtivo. Dentre estes desempenhos estão: a velocidade de entrega; confiabilidade de entrega; flexibilidade de saídas; qualidade dos produtos entre outros (CORRÊA *et al.*, 2001). Na Figura 2 pode ser visto a “Manufatura” como centro do sistema produtivo e as áreas em seu entorno.

Figura 2 – Manufatura como centro do sistema produtivo



Fonte: O Autor (2022)

Na questão da competitividade, algumas pesquisas empíricas tem sido realizadas sobre o efeito da automação flexível na flexibilidade de manufatura da

indústria. A flexibilidade de manufatura tornou real a eficiência da produção em massa em lotes médios e pequenos a partir da década de 50. O desenvolvimento de sistemas flexíveis de manufatura inclui integração por computador, tecnologia da informação e processo de manufatura automatizado de modo a obter flexibilidade estratégica de manufatura, ou seja, a Manufatura Integrada por Computador inclui equipamentos de computação e programas projetados especificamente para melhorar o processo de produção nas máquinas (ZUKIN; DALCOL, 2000).

O outro aspecto para aumento da competitividade é a demanda de empresas de manufatura, particularmente em países onde a mão de obra é de elevado custo, para se tornarem cada vez menos dependentes de altos custos da mão de obra, explorando novas tecnologias com a ajuda da Indústria 4.0 (IMRAN *et al.*, 2018).

A seguir é possível verificar as tecnologias obtidas ao longo das revoluções industriais relacionadas ao Sistema Ciber-Físico, suas interligações e suas respectivas aplicações as indústrias Têxteis e Vestuário ao redor do mundo encontrados na revisão de literatura.

## 2.1 SISTEMA CIBER-FÍSICO DE PRODUÇÃO

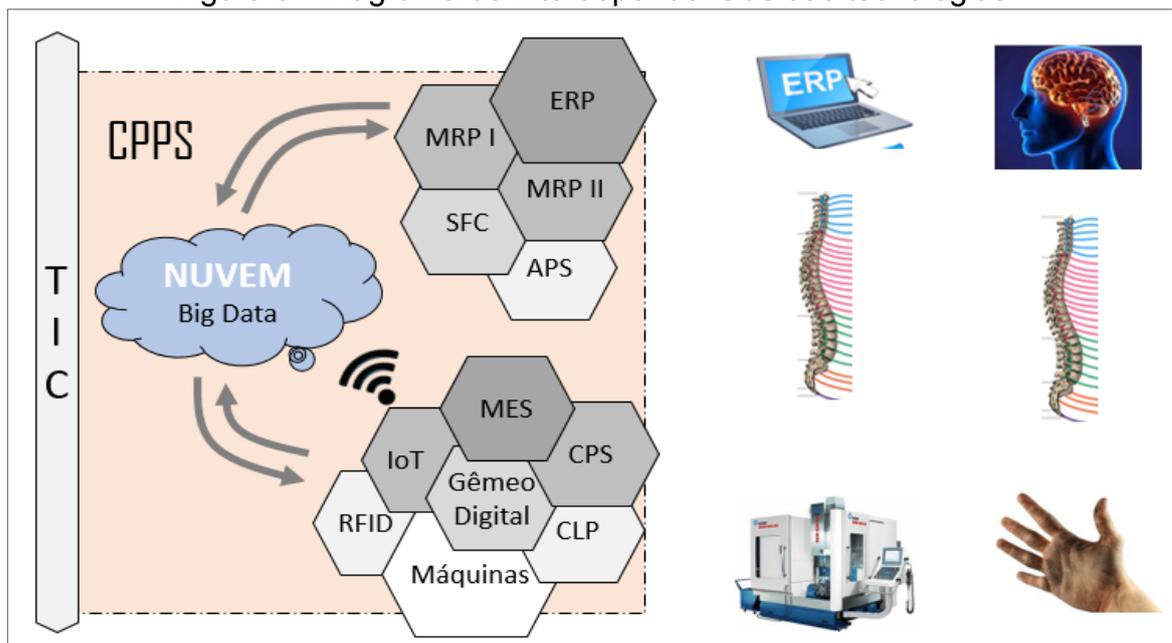
Os assuntos selecionados e abordados nesta seção estão relacionados na medida que cada um interdepende um do outro conforme apresentado na Figura 3. O fluxo de informações que transitam entre a manufatura e a área do planejamento pode ser comparada a uma analogia do sistema nervoso central humano em que o cérebro (Sistema Integrado de Gestão Empresarial - SIGE / Programação e Controle da Produção - PCP), ligada às mãos (máquinas) por meio da espinha dorsal (SCFP)<sup>2</sup>. A lógica do processo se dá quando as informações de Planejamento de Necessidade de Materiais e Planejamento de Recursos da Produção, módulos oriundos do SIGE, geram as necessidades de produção por meio da emissão das Ordens de Produção (OP) através do Controle de Chão de Fábrica, que por natureza tem em sua essência a capacidade infinita de alocação das Ordens de Produção (OPs). Para solucionar este problema, surge o Sistema Avançado de Programação (SAP) que é um sistema de capacidade finita e que faz a programação da OPs de maneira eficiente (CORRÊA *et al.*, 2001).

---

<sup>2</sup> II Simpósio Internacional de Excelência em Produção em Joinville: A Produção Inteligente – Unisociosc / Associação de Engenheiros Brasil-Alemanha. 2015.

A execução das OPs ocorre nas máquinas dotadas de Controladores Lógicos Programáveis (CLP), que por meio dos Sistemas Ciber-Físicos criam o Gêmeo Digital dentro do Sistemas de Execução de Manufatura (SEM) que faz o monitoramento e indicação do *status* da máquina em tempo real. Por meio da interligação do SEM com o SIGE é feita a retroalimentação das informações ao PCP por meio da conexão pela internet sem fio à nuvem onde os dados são disponibilizados de forma a serem consultados, dados esses referentes à execução das OPs e posição dos estoques dentro da fábrica. Essa enorme quantidade de dados é armazenada no *Big Data* que posteriormente faz a análise destas informações. Deste modo, é possível fazer a auto otimização do sistema de planejamento e manufatura (BUENO *et al.*, 2020), (WANG *et al.*, 2021).

Figura 3 - Diagrama de interdependências das tecnologias



Fonte: O autor (2022)

O aumento de capacidade produtiva das indústrias está ligado as revoluções industriais e a seguir será abordado o respectivo assunto.

## 2.2 QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Diante dos desafios relacionados às indústrias a permanecerem competitivas no mercado, há a necessidade de constantes mudanças, desde o processo produtivo

chegando até a cadeia de fornecimento. A descoberta de novas tecnologias acompanhou o desenvolvimento da indústria desde a adoção inicial de sistemas mecânicos, para apoiar os processos de produção, até as linhas de montagem altamente automatizadas de hoje, e esses avanços tecnológicos chamaram-se de revoluções industriais. (LEE; KAO; YANG, 2014).

A primeira revolução industrial surgiu dos desafios da produção de produtos passou de forma artesanal para forma mecanizada e a invenção da máquina a vapor ocorrida entre 1760 e 1840. A segunda revolução industrial que surgiu em meados de século XIX com a utilização da eletricidade e da linha de montagem, além de das melhorias nos meios de transportes, transição do ferro para o aço, possibilitando assim, a produção de bens em massa. Já a terceira revolução industrial se intensifica nos anos 1970 e 1980 com o desenvolvimento da computação, a revolução do chip, dos semicondutores e dos Controladores Lógicos Programáveis (SCHWAB, 2019).

Cada revolução industrial apresentou inovações para a sua época, inovações que serviram, nessa trajetória de acúmulo e geração de conhecimentos, de base para a quarta revolução industrial que representa o mais novo estágio desta evolução histórica que busca a automação flexível da manufatura (SAKURAI; ZUCHI, 2018).

A quarta revolução industrial utiliza tecnologias digitais fundamentadas no computador, *software* e redes, que não são novas, mas está causando uma disruptura tornando-as mais sofisticadas e integradas e, conseqüentemente, transformando a sociedade e a economia global. A nomenclatura Indústria 4.0 apareceu pela primeira vez na Alemanha em 2011 na Feira de Hannover com proposta de “fábricas inteligentes”, possibilitando a total personalização de produtos e a criação de novos modelos operacionais. O objetivo principal era agregar valor na economia da Alemanha que passava por um momento de estagnação. Na época, o grupo de pesquisa identificou que a Tecnologia da Informação e Comunicações era responsável por fornecer suporte para a modernização das linhas de produção desde a década 1980 e que seria extremamente estratégico contar com esse apoio no futuro (KAGERMANN *et al.*, 2013).

Na Indústria 4.0 os sistemas físicos e virtuais de fabricação cooperam de forma global e flexível por meio de seis princípios de design: interoperabilidade, virtualização, descentralização, capacidade em tempo real, orientação de serviço e modularidade (VANÝSEK, 2016). A Figura 4 ilustra essa evolução da indústria.

Figura 4 – Evolução da Indústria



Fonte: Adaptado de Franco; Oian (2019)

O uso das tecnologias tem a capacidade de alterar radicalmente as dinâmicas sociais e de mercado, principalmente pelo dinamismo que a internet traz aos processos de trabalho decisórios, com a adoção de processos automatizados por máquinas geridas por meio de Inteligência Artificial. A Indústria 4.0 só se tornou possível em decorrência da revolução digital no campo das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC), permitindo assim modernizar os processos industriais, assim maior controle sobre os processos de manufatura e alcançar novos patamares de crescimento e desenvolvimento econômico (CAVALCANTI *et al.*, 2017), (GOMES, 2016).

Esses avanços tecnológicos estão presentes em todas as áreas da economia, trazendo alterações econômicas e sociais ao longo dos anos. Uma infinidade de dispositivos conectados entre si coleta dados do ambiente e dos usuários, associado às tecnologias de *Big Data*, computação em nuvem e novas tecnologias de tratamento de dados que alteram a forma como consumidores e fornecedores realizam negócios. As tradicionais segmentações entre indústria e serviços e as divisões dos setores industriais estão sendo modificadas e deste modo, influenciam significativamente os processos de produção de bens e serviços, resultado direto de inovação e racionalização do setor industrial e produtivo (CNI, 2016), (SOARES, 2018).

Esse novo contexto da indústria vem transformando a forma de planejar e executar a transformação das matérias primas em produto acabado. A indústria 4.0, reunindo aspectos tecnológicos têm gerado uma nova estrutura, podendo ser chamada de “Fábricas Inteligentes”, capazes de aumentar a produção e economizar custos. Numa visão ampla, a indústria 4.0 passa a ser um conjunto de tecnologias que

em sinergia, podem proporcionar diversos benefícios na área industrial (CARVALHO; FILHO, 2018).

Das tecnologias relacionadas à indústria 4.0, pode-se caracterizar 9 formas mostradas a seguir (BARRETO *et al.*, 2019), (FRANCO; OIAN, 2019):

- a) Big Data Analytics: por meio da análise de dados, visa descobrir padrões escondidos, correlações desconhecidas e outras informações úteis relevantes;
- b) Robotização: robôs autônomos nas linhas de produção para desempenhar atividades complexas;
- c) Simulação virtual: auxilia na tomada de decisão e na predição de comportamentos e tendências de efeitos de parâmetros sobre um modelo matemático representativo da situação física;
- d) Internet das Coisas: objetos físicos são conectados à internet possibilitando o acesso remoto de dados e o controle de objetos a distância em tempo real;
- e) Segurança cibernética: métodos para detectar e impedir invasores de sistemas de gerenciamento e linhas de produção com a crescente conectividade;
- f) Computação em nuvem: aplicações e serviços viabilizados por *data center* no compartilhamento de dados em ambientes internos e externos, seguros, confiáveis, de alta qualidade, baixo custo e sob demanda;
- g) Manufatura aditiva: adiciona material camada por camada para produzir um objeto permitindo a produção de pequenos lotes customizados;
- h) Realidade aumentada/virtual: realidade física representada virtualmente em imagens reais em tempo real, capaz de enganar os sentidos de um usuário, permitindo a imersão completa em um ambiente simulado;
- i) Sistemas Ciber-Físicos: máquinas do processo produtivo do mundo físico representadas de forma virtual.

A abordagem da indústria 4.0 ainda não tem uma definição clara e comum bem estabelecida, sendo bastante confusa tanto para pesquisadores quanto para os praticantes. A quarta revolução industrial, atraiu muita atenção nas literaturas recentes e está profundamente relacionada com a Internet das Coisas, Sistema Ciber-Físicos e Tecnologia da Informação e Comunicação (HOFMANN; RÜSCH, 2017), (LU, 2017).

A Indústria 4.0 busca atingir um nível mais alto de eficiência operacional e produtividade, bem como um nível mais alto de automatização. Ressaltam que os seis principais recursos da Indústria 4.0 são digitalização, otimização e customização da produção; automação e adaptação; Interface Homem-Máquina; serviços e negócios de valor agregado e troca e comunicação automática de dados. Como resultado, houve um crescimento explosivo no desenvolvimento e implementação de vários Sistemas Ciber-Físicos, que são integrações de sistemas cibernéticos com coisas físicas (KIM, 2017), (LU, 2017).

A Indústria 4.0 facilita a interconexão e a informatização na indústria tradicional por meio de dois fatores principais: integração e interoperabilidade. Interoperabilidade é uma das principais vantagens da Indústria 4.0, ou seja, é “a capacidade de dois sistemas se entenderem e usarem a funcionalidade um do outro” por meio da capacidade de troca de dados, compartilhamento de informações e conhecimento (LU, 2017).

O desenvolvimento da indústria é um processo integrado de complexidade e agilidade entre homem e máquina em que a Indústria 4.0 aumenta a digitalização da manufatura com o Sistema Ciber-Físico (SCF), as redes conectadas de humanos e robôs interagem e trabalham juntos com informações compartilhadas e analisadas, apoiadas por *Big Data* e computação em nuvem ao longo das cadeias produtivas industriais. Isto torna a produção flexível para atingir níveis sem precedentes de eficiência operacional e crescimento da produtividade (LU, 2017), (MANGLANI *et al.*, 2019).

Os produtores de artigos têxteis, especialmente em países com salários elevados, têm de lidar com a tendência de tamanhos de lote menores, em combinação com a demanda por variações crescentes de produtos. Uma possibilidade de lidar com essas tendências de mercado em mudança consiste na fabricação com Sistema Ciber-Físico de Produção (SCFP) e maquinário cognitivo (SAGGIOMO *et al.*, 2016).

Toda essa revolução industrial está amparada na evolução da tecnologia e a mesma será explanada a seguir.

### 2.3 TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TIC)

Uma série de marcos ocorreram no desenvolvimento da Tecnologia da Informação e Comunicação advindas da terceira Revolução Industrial e a Segunda

Guerra Mundial, e são consideradas como momentos chave da história recente pela sua contribuição para o desenvolvimento das TICs, seja pelo contexto dos esforços de guerra e a necessidade de se proteger informações sensíveis, ou seja pela necessidade dos esforços de reconstrução da Europa após o término da Guerra. Por volta de 2000, surgiu a computação difusa para realizar cálculos em qualquer momento ou lugar e influenciaram fundamentalmente o desenvolvimento da sociedade da informação (LIU *et al.*, 2017), (AUNE, 2017).

A cada dia que passa, pode-se observar que o nível atual de evolução das Tecnologias da Informação e Comunicação permite o desenvolvimento de uma série de propostas baseadas na criação de experiências em rede por meio de interfaces digitais, a exemplo do conceito de Indústria 4.0. Isto mostra que estamos em face de um cenário marcado pela hiper conectividade com novas formas de inclusão e novas formas de organização da força de trabalho (AUNE, 2017), (COSTA, 2015).

As indústrias se tornam centros integrados de gestão do conhecimento, aprendizagem, comercialização e experimentação, formadas por um gigantesco volume de dados que podem apresentar diferentes graus de complexidade, por isso há a necessidade imperativa de filtrar toda esta massa de dados, permitindo assim transformar estes dados em informações úteis (AUNE, 2017), (COSTA, 2015).

Conforme aumenta a aplicação das TICs, maior é o volume, a variedade e a velocidade dos dados gerados, e quanto maior for a velocidade de conexão em um ambiente, como uma indústria têxtil, por exemplo, maior é o fluxo de informações que circula por uma empresa, trazendo maior dinamismo aos processos de trabalho e uma vantagem competitiva às organizações como um todo, ao ser capaz de alterar o jogo de forças tradicional baseado em preço e qualidade (COSTA, 2015), (STEFANI, 2015).

Os vários sistemas embarcados foram desenvolvidos para controlar e monitorar componentes físicos, como máquinas, dispositivos e estruturas. Devido à crescente velocidade da internet, junto com os rápidos avanços na miniaturização, velocidade, potência e mobilidade, as Tecnologias da Informação e Comunicação são combinadas com os elementos do mundo físico para criar sistemas inteligentes que aumentam a eficácia, produtividade, segurança, velocidade e funções de habilitação que não eram possíveis anteriormente. As tecnologias preditivas por meio de algoritmos inteligentes são usadas para prever a degradação do desempenho do

produto, gerenciar e otimizar de forma autônoma as necessidades de serviço do produto (KIM, 2017), (LEE *et al.*, 2014).

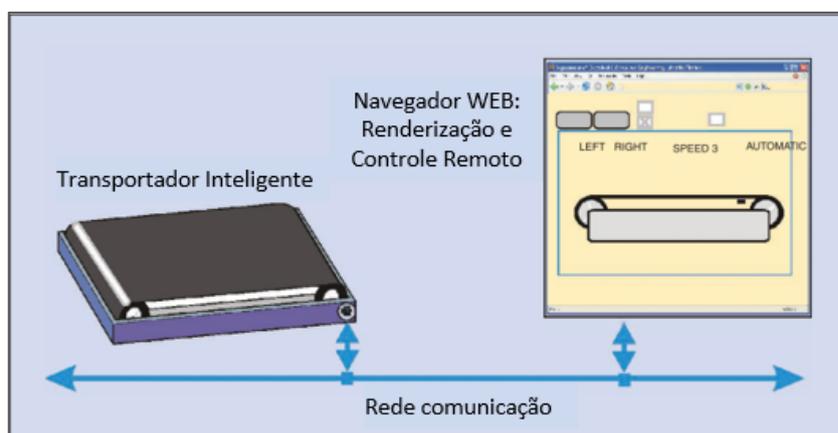
Os sistemas controlados em rede integram tecnologias como redes sem fio, sistemas embarcados e etiquetas eletrônicas conhecidas como Identificação por Rádio Frequência (IDRF), para atender a novos requisitos como mobilidade, modularidade, controle e descentralização ou distribuição de diagnóstico, autonomia e redundância, permitindo rapidez e facilidade manutenção. Essa tecnologia de identificação automática, que apresenta muitas vantagens, como contato de longa distância, desgaste não mecânico, programável, maior capacidade de armazenamento e mais flexibilidade de memória. Aplicando a tecnologia IDRF ao processo de fabricação, os dados de produção podem ser gravados em etiquetas IDRF, como dados de processo, dados de matéria-prima, dados de qualidade, etc. e como resultante melhorar o monitoramento no chão de fábrica (UGARTE *et al.*, 2009), (HUA *et al.*, 2008).

A infraestrutura de processamento de informações de máquinas inteligentes, ou mesmo uma máquina relativamente simples, como a unidade de correia transportadora, pode aumentar seu valor significativamente se equipada com um controle embutido adequado e dispositivo de processamento de informações. O dispositivo embarcado pode hospedar e implementar simultaneamente uma série de funções, conforme mostrado na Figura 5. A inteligência no nível do dispositivo estende sua funcionalidade, aumentando seu desempenho, confiabilidade e capacidade de integração em sistemas de produção mais complexos. Por exemplo, a função de conectividade permite que tal máquina se comunique com outras máquinas inteligentes dentro de uma célula de manufatura, bem como com sistemas de informação empresarial e humanos operadores (VYATKIN *et al.*, 2007).

As Tecnologias da Informação e Comunicação como *Internet das Coisas* (IoT), Sistema Ciber-Físico (SCF) e *Biga Data* são a base para a implantação da Indústria 4.0. Assim, o SCF teria sido cunhado pela pesquisadora Helen Gill da US *National Science Foundation* em 2006, embora o conceito básico por trás do SCF já existisse ao menos desde o início da década de 70 com o surgimento dos primeiros microprocessadores. Sistemas Ciber-Físicos são definidos como tecnologias transformadoras para o gerenciamento de sistemas interconectados entre seus ativos físicos e recursos computacionais. As tecnologias que permitem a comunicação e interação entre máquinas, humanos e outros componentes de hardware e software

tem potencial para formar a base de infraestruturas capazes de afetar muitos aspectos de nossas vidas (LIU *et al.*, 2017), (SADIKU *et al.*, 2017), (CORONADO *et al.*, 2018), (LEE *et al.*, 2015), (CHEN, 2017), (KIM, 2017).

Figura 5 - Controle remoto do transportador pela rede



Fonte: Adaptado de Vyatkin *et al.* (2007)

Ao implantar rede de sensores sem fio inteligentes, computação e tecnologias de análise de *Big Data*, os Sistemas Ciber-Físicos de Produção podem se tornar inteligentes e sustentáveis, pois esses sistemas de entidades computacionais<sup>3</sup> colaborativas que estão em intensa conexão com o mundo físico circundante e seus processos em curso, proporcionando e utilizando, ao mesmo tempo, acesso a dados e serviços de processamento de dados disponíveis na Internet (LIU *et al.*, 2017), (ANDRONIE *et al.*, 2021), (LU, 2017).

Módulos de aquisição de dados do sistema físico coletam dados por dispositivos de campo distribuídos no sistema SCF e garantem a capacidade em tempo real e a precisão dos dados coletados interconectados em um ciberespaço virtual por meio de uma rede de transferência de dados. Assim, o SCF combina informações e materiais, a descentralização e a autonomia desempenham papéis importantes na melhoria do desempenho industrial geral (ANDRONIE *et al.*, 2021), (LIU *et al.*, 2017), (LU, 2017).

Os avanços recentes na indústria de manufatura abriram caminho para uma implantação sistemática de Sistemas Ciber-Físicos, nos quais as informações de

<sup>3</sup> Entidades computacionais também conhecidos como “nós” num sistema de computação distribuída, ou seja, um sistema cujos componentes estão localizados em diferentes computadores em rede, que se comunicam e coordenam suas ações passando mensagens entre si interagindo para atingir um objetivo comum.

todas as perspectivas relacionadas são monitoradas de perto e sincronizadas entre o chão de fábrica físico e o espaço cibernético computacional. Observa-se que dentro das fábricas inteligentes estruturadas modularmente, o SCF monitora os processos físicos, cria uma cópia virtual do mundo físico e toma decisões descentralizadas (LEE *et al.*, 2015), (LU, 2017), (SADIKU *et al.*, 2017), (KIM, 2017).

Nos SCF, a integração entre as camadas física e ciber dá-se a partir de sensores e atuadores em que a camada ciber pode abrigar um modelo de simulação que reproduz o ambiente físico, além de incluir um conjunto de aplicações de Tecnologia da Informação - TI como Sistemas Integrados de Gestão Empresarial (SIGE), sistemas de acompanhamento e controle da produção como o Sistemas de Execução de Manufatura (SEM), sistemas de Gestão do Ciclo de Vida do Produto entre outros (SACOMANO *et al.*, 2018).

A confiabilidade dos dados é outro fator chave no processamento de dados, pois um grande número de sistemas de computação precisa obter dados confiáveis em tempo real. Para a modelagem de processos físicos com abstrações matemáticas, os dados não são confinados a um único dispositivo, e sim como uma confluência de sistemas incorporados ou dispositivos constituintes (LIU *et al.*, 2017), (SADIKU *et al.*, 2017).

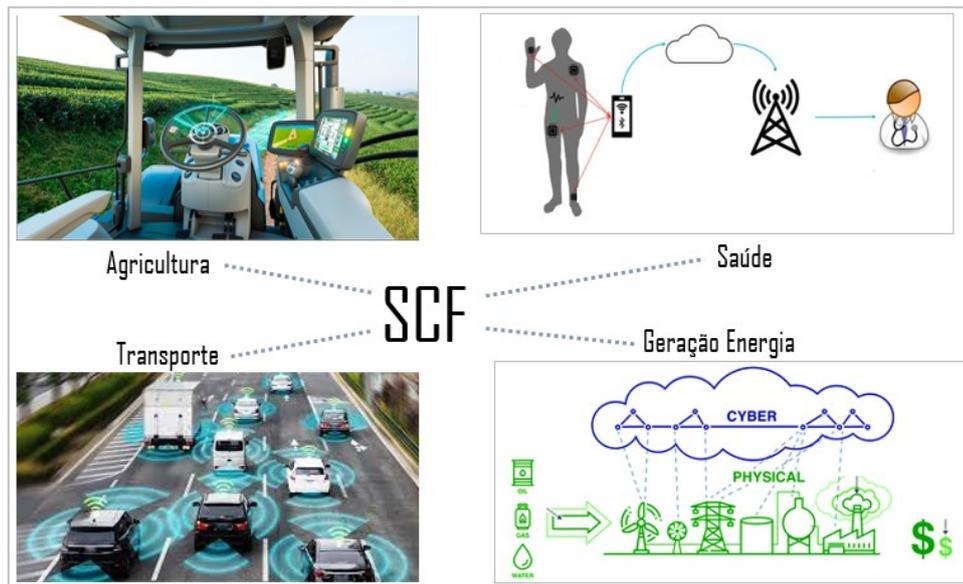
Os SCF têm ampla e extensa gama de campo de aplicação em cuidados de saúde personalizados, tais como: resposta a emergências, dispositivos médicos implantados e cirurgia robótica, dispositivos de suporte de vida e cirurgia robótica. Além disso, pode-se encontrar no gerenciamento de fluxo de tráfego, geração e distribuição de energia elétrica, distribuição de petróleo e gás natural, sistemas de transporte, equipamentos aeroespaciais, futuros sistemas de defesa, infraestrutura civil, controle ambiental e eletrodomésticos; ou seja, qualquer coisa "inteligente", como carros autônomos, trens, educação, edifícios, casas e cidades inteligentes, manufatura inteligente e hospitais. A lista é longa, impressionante e está crescendo rapidamente (LIU *et al.*, 2017), (SADIKU *et al.*, 2017), (CHEN, 2017), (KIM, 2017).

Algumas dessas aplicações são explicadas a seguir e estão representadas na Figura 6 (SADIKU *et al.*, 2017):

- a) Manufatura: eles podem melhorar os processos compartilhando informações em tempo real entre as máquinas industriais, a cadeia de suprimentos de manufatura, fornecedores, sistemas de negócios e clientes.

- b) Cuidados de saúde: os SCF são usados para monitoramento em tempo real e remoto das condições físicas dos pacientes para limitar a hospitalização do paciente ou para melhorar os tratamentos para pacientes idosos e deficientes.
- c) Energia renovável: redes de energia inteligentes são SCF onde sensores e outros dispositivos monitoram a rede para controlá-lo e fornecer melhor confiabilidade e melhorar a eficiência energética.
- d) Transporte: os veículos individuais e a infraestrutura podem se comunicar entre si, compartilhando informações em tempo real sobre tráfego, localização ou problemas, a fim de prevenir acidentes ou congestionamentos, melhorar a segurança e, por fim, economizar tempo e dinheiro.
- e) Agricultura: os SCF podem coletar informações fundamentais sobre o clima, o solo e outros dados, a fim de realizar sistemas mais precisos de gestão agrícola e a segurança alimentar.

Figura 6 – Algumas áreas de aplicação do SCF além da manufatura



Fonte: O autor (2022)

De forma mais detalhada, a Figura 7 mostra como o SCF opera em três camadas: percepção, transmissão e aplicação. A camada de percepção (ou camada de sensores) possui dispositivos terminais, como sensores, câmeras, etiquetas Identificação por Rádio Frequência (IDRF) e leitores. Esses dispositivos possuem a

capacidade de coletar dados em tempo real, como som, luz, ouvir, eletricidade ou localização e executar comandos da camada de aplicativo. A camada de transmissão (ou camada de rede) troca e processa dados entre a percepção e o aplicativo. A transmissão é obtida usando redes locais, a Internet ou tecnologias de comunicação como *Wi-Fi* e *Bluetooth*. A camada de aplicação processa informações da camada de transmissão e emite comandos a serem executados pelos sensores e atuadores (SADIKU *et al.*, 2017).

Figura 7 – Camadas típicas do SCF



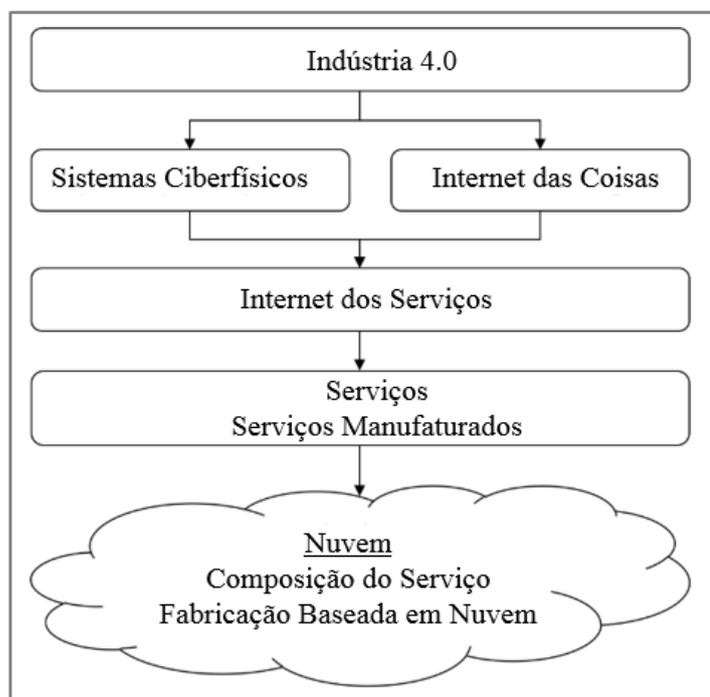
Fonte: Adaptado de Sadiku *et al.* (2017)

Deste modo, os Sistema Ciber-Físicos de Produção (SCFP) com o auxílio de *loops de feedback*, são a espinha dorsal da Indústria 4.0 e, como tal, tornaram-se uma área transdisciplinar central de pesquisa, tanto na indústria quanto na academia. Está claro na literatura que o SCF está no coração de uma fábrica inteligente, junto com a Internet das Coisas e as ferramentas relacionadas que incluem computação em nuvem, aplicativos da *web*, dispositivos móveis, sensores e Gêmeos Digitais. Em outras palavras, os Sistemas Ciber-Físicos e Internet das Coisas (IoT) são os elementos considerados base para a Indústria 4.0, e são implantados em uma infraestrutura baseada em nuvem (CHEN, 2017), (JIANG *et al.*, 2018), (CORONADO

*et al.*, 2018), (KIM, 2017), (SOUZA *et al.*, 2021), (SACOMANO *et al.*, 2018), (FAROOQ *et al.*, 2020). A figura 8 apresenta a base da Indústria 4.0 em relação ao SCF e a IoT.

A evolução explosiva do Sistema Ciberfísico de Produção e suas aplicações permitem um mecanismo altamente controlado com base em algoritmos monitorados, em que o SCF e a IoT são as tecnologias-chave da interoperabilidade podendo compartilhar com eficiência vários tipos de informações sem erros dentro da manufatura (FAROOQ *et al.*, 2020), (IMRAN *et al.*, 2018).

Figura 8 - A Indústria 4.0 e sua relação com SCF e IoT na manufatura



Fonte: Adaptado de Kim, (2017)

Embora a aplicação de SCF esteja em franca expansão, eles apresentam alguns desafios que nem sempre são encontrados em um sistema de informações de negócios clássico ou sistema embarcado. Alguns dos desafios técnicos difíceis incluem (SADIKU *et al.*, 2017):

- a) Heterogeneidade de dados: os sistemas precisam ser capazes de oferecer suporte a um grande número de aplicativos e dispositivos diferentes;
- b) Confiabilidade: confiabilidade e segurança são requisitos básicos devido à forma como os atuadores afetam o meio ambiente. Qualquer falha dos componentes do SCF pode levar à degradação do sistema, o que pode causar graves danos à vida e à propriedade;

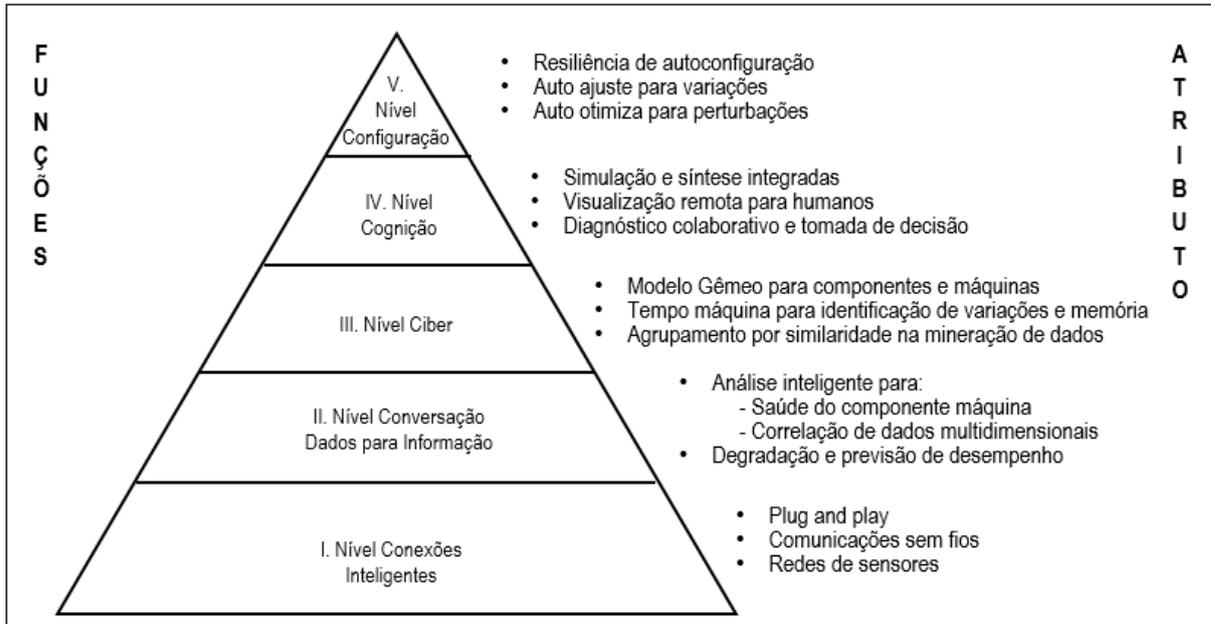
- c) Gestão de dados: é necessário armazenar e analisar *Big Data* de diferentes dispositivos conectados, processá-los e mostrar resultados em tempo real;
- d) Privacidade: como os SCF gerenciam grandes quantidades de dados, incluindo informações confidenciais como saúde, gênero, religião e muitos outros, são levantadas questões significativas sobre privacidade de dados;
- e) Segurança: os SCF são baseados em aplicativos heterogêneos e comunicações sem fio, que muitas vezes levantam questões críticas de segurança;
- f) Tempo real: os SCF devem garantir que tenham a largura de banda ou a capacidade do sistema necessária para atender às funções críticas de tempo, pois falhas no tempo das ações podem causar danos permanentes.

Uma das características dos SCF é a possibilidade de criação de Gêmeos Digitais em que dispositivo o físico tem seu componente cibernético como uma imagem digital do dispositivo real. Esses modelos, conhecidos como Gêmeos Digitais, são atualizados quase em tempo real e podem ser usados para visualizar, analisar e controlar o estado de uma peça ou processo (CORONADO *et al.*, 2018), (ANDRONIE *et al.*, 2021), (KIM, 2017), (MASOOD; SONNTAG, 2020), (JIANG *et al.*, 2018).

A aplicação dos SCF na manufatura pode ser modelada em uma estrutura de 5 níveis, ou seja, a arquitetura 5C, que sugere uma diretriz passo a passo para desenvolver e implementar os SCF e pode ser visto na Figura 9. O primeiro nível é a de conexão inteligente, a aquisição de dados precisos e confiáveis das máquinas e seus componentes é essencial. Os dados podem ser medidos por sensores ou adquiridos de controladores ou sistemas de manufatura da empresa. Em segundo lugar, as informações significativas devem ser inferidas dos dados no nível de conversação de dados para informações. Recentemente, algoritmos foram desenvolvidos especificamente para aplicações de prognóstico e gerenciamento de saúde. Terceiro, o nível cibernético funciona como o *hub* central de informações nesta arquitetura. As informações são agregadas e analisadas neste nível de cada máquina conectada para formar a rede da máquina. Quarto, a implementação do SCF no nível de cognição gera um conhecimento completo do sistema monitorado. A apresentação adequada do conhecimento adquirido para usuários experientes auxilia na tomada de decisões. Por último, ao aplicar a estrutura proposta, a arquitetura 5C para a

implementação do SCFP combina elementos e subsistemas autônomos e cooperativos que são unificados em todos os níveis de produção (KIM, 2017).

Figura 9 - Arquitetura 5C para implementação de um SCF.



Fonte: Adaptado de Kim, (2017)

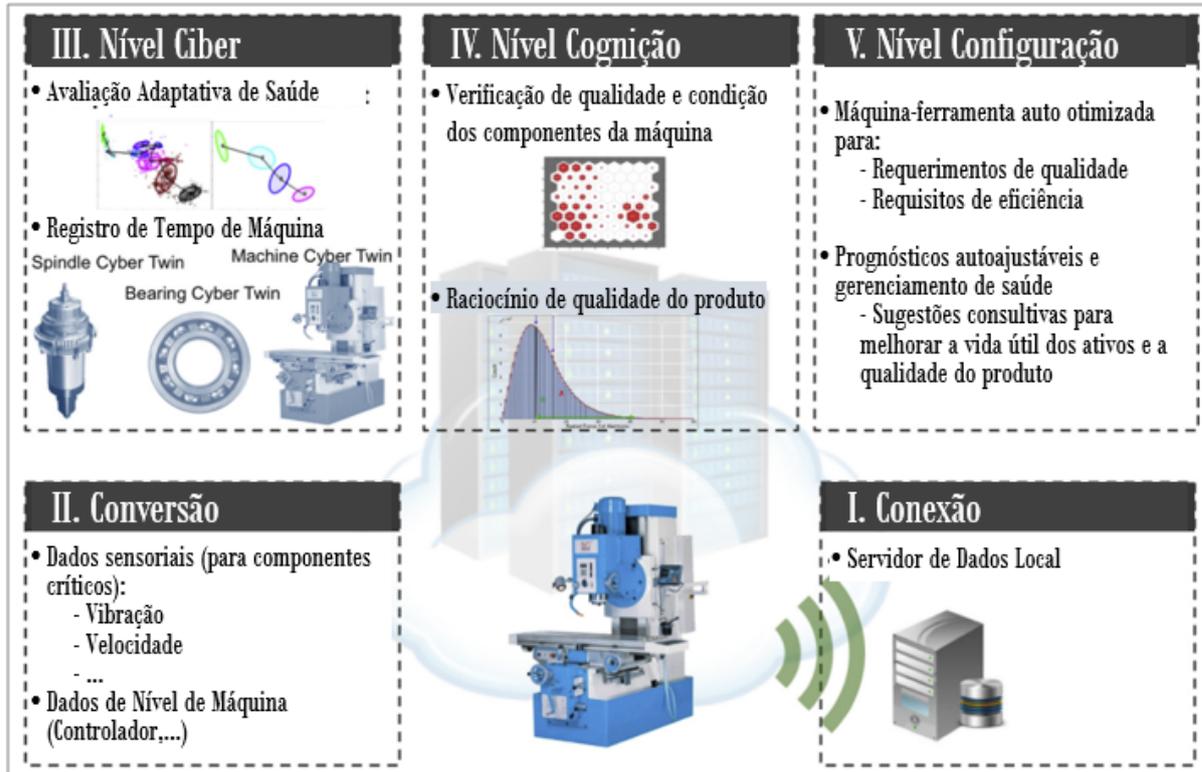
A implementação do SCF nas fábricas de hoje oferece várias vantagens em que a empresa habilitada com SCF coleta os dados sensoriais de componentes críticos e converte em informação por meio do Gêmeo Digital de cada componente. A Figura 10 apresenta um exemplo de aplicação da arquitetura cinco níveis do SCF numa empresa de máquinas ferramentas (LEE *et al.*, 2015).

Com base no modelo de estrutura 5C do SCF, é possível elaborar um modelo de maturidade do SCF que são definidos da seguinte forma: i) definir noções básicas; ii) criar transparência; iii) aumentar o entendimento; iv) melhorar a tomada de decisão; v) auto otimizar (PARK *et al.*, 2020).

Enquanto as condições organizacionais e estruturais para a implementação do SCF são criadas dentro do primeiro nível, os quatro níveis superiores representam a maturidade das realizações relativas ao processamento de informação e conhecimento e aos aspectos de cooperação e colaboração. O nível de maturidade do SCF, conforme apresentado na Figura 11, aumenta com os esforços para melhorar a compreensão, acumular dados e melhorar a tomada de decisões. Compreender o mundo físico é essencial para a implementação e aplicação de um SCF, e um mundo

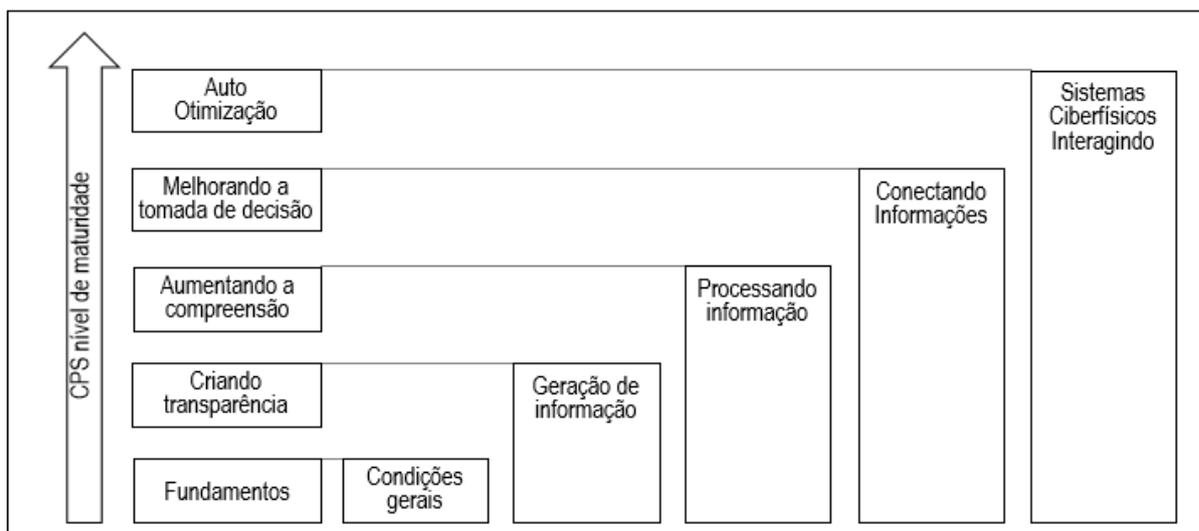
cibernético pode ser eficaz se for construído com base nesse entendimento (PARK *et al.*, 2020).

Figura 10 – Fluxo de informações com base na arquitetura 5C do SCF



Fonte: Adaptado de Lee *et al.* (2015)

Figura 11 – Modelo de Maturidade SCF



Fonte: Adaptado de Kim, (2017)

Deste modo, as evidências apontam que o SCFP dominará os sistemas de manufatura integrando-se ao SCF como uma nova geração de indústria. O SCFP envolve humanos, máquinas e produtos e combina computação, rede e processos físicos no processo de produção, a fim de tornar a produção mais econômica e eficiente em tempo com produtos altamente qualificados. Os computadores e redes embutidos no SCFP servem como sede para monitorar e controlar os processos físicos, ciclos de *feedback* e avaliações de desempenho no processo de produção (LU, 2017), (ANDRONIE *et al.*, 2021).

Assim como o SCF, a Internet da Coisas (IoT) desempenha um papel fundamental na Indústria 4.0, e pode-se definir a IoT como um sistema formado por objetos e endereçamentos virtuais únicos e identificáveis com a finalidade de se desenvolver uma estrutura que serve a diversos propósitos, como a detecção, operação e acionamento de entidades computacionais conectados à internet, possibilitando a geração de dados que podem contribuir para uma série de atividades como a tomada de decisão e servir de suporte a novas operações (NG; WAKENSHAW, 2017), (MANICKAM; KUMAR, 2020), (NORD *et al.*, 2019).

Embora haja alguns desafios na aplicação da IoT, os seus benefícios ao conectar humanos e máquinas, a IoT transfere e integra conhecimento entre organizações e organizações internas. Ao facilitar a informação e o conhecimento, a IoT melhora a eficiência e a eficácia do desenvolvimento e gestão do conhecimento na indústria 4.0. Especificamente, a IoT e a indústria 4.0 mudarão o relacionamento entre clientes, produtores e fornecedores. Entretanto, a Internet das Coisas geralmente tem apenas a percepção, mas nenhum controle simples do mundo físico, enquanto o SCF não só tem a capacidade de sentir o mundo físico, mas também possui uma forte capacidade de controle (LIU *et al.*, 2017), (LU, 2017).

A intensidade de toda essa comunicação gera volume de dados que precisa ser armazenado em um local que tenha capacidade para tal. Assim, compreende-se que o conceito de *Big Data* representa inicialmente toda a massa de dados presente em uma rede de computadores, sendo o seu diferencial o fato de este volume de dados precisar de uma estrutura e ferramentas específicas que sejam capazes de analisá-lo, algo que não seria possível de se fazer em tempo hábil por seres humanos, de forma que seja possível transformar os dados em informações úteis para uma organização. Dessa forma, o conceito de *Big Data* como uma dinâmica informacional caracterizada por processos de crescimento, disponibilidade e utilização exponencial

de informações, a fim de que possam ser aproveitadas como insumo para a inovação e a competitividade (LIMA JUNIOR, 2011), (ESTEVANIM, 2016).

À exemplo de um gerente de produção que precisa avaliar os dados anuais da produção de uma tecelagem a fim de tomar decisões estratégicas envolvendo a compra de insumos e o desenvolvimento de produtos, no competitivo ambiente de negócios de hoje, as empresas estão enfrentando desafios ao lidar com problemas de *Big Data* para a rápida tomada de decisões para melhorar a produtividade. O gerenciamento e a distribuição de dados em um ambiente de *Big Data* são essenciais para a obtenção de máquinas autoconscientes e de autoaprendizagem com a flexibilidade de recursos oferecidos pela computação em nuvem (LEE *et al.*, 2014), (LIMA JUNIOR, 2011), (ESTEVANIM, 2016).

A manufatura inteligente torna as redes de produção física cibernética mais bem organizadas e sustentáveis pelo uso de algoritmos de tomada de decisão baseados em Inteligência Artificial. A análise de *Big Data* pode revelar conhecimento não detectado e conexões entre as decisões do ciclo de vida e os procedimentos operacionais, ajudando a fazer arranjos de negócios mais bem fundamentados em configurações de gerenciamento. Análises inteligentes e Sistemas Ciber-Físicos estão se unindo para perceber um novo pensamento de gestão de produção e transformação de fábrica. Usando instalações de sensores apropriadas, vários sinais podem ser extraídos em toda a cadeia produtiva e quando todos os dados são agregados, esse amálgama é chamado de "*Big Data*". O processamento real de *Big Data* em informações úteis é, então, a chave da inovação sustentável dentro de uma fábrica da Indústria 4.0 (LEE *et al.*, 2014), (ANDRONIE *et al.*, 2021).

Todas essas informações tem como núcleo principal de planejamento o SIGE e que será explanado a seguir.

## 2.4 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO PARA A MANUFATURA

Para se atender as necessidades atuais das empresas requer-se um PCP Digital e inteligente rumo a Indústria 4.0 por meio da Internet das Coisas (IoT) e do SCF. Nesse sentido, o PCP como parte central do sistema de manufatura, faz integração de ambientes de produção físicos e digitais que considera Sistemas Ciber-Físicos /Gêmeos Digitais com o SIGE (WANG *et al.*, 2021), (BUENO *et al.*, 2020).

As atividades de Planejamento e Controle de Produção (PCP) visam definir o quê, quanto e quando produzir, comprar e entregar para que a empresa possa combinar o desempenho de fabricação com as demandas do cliente. As rápidas mudanças ambientais industriais impõem uma perspectiva evolutiva e integrativa na gestão de operações e, conseqüentemente, na função PCP que utiliza, por exemplo, Planejamento de Necessidades de Materiais, Planejamento dos Recursos de Manufatura, planejamento colaborativo, previsão e reabastecimento, entre outras atividades (BUENO *et al.*, 2020).

Todas essas atividades são módulos do Sistema Integrado de Gestão Empresarial (SIGE) que é o cérebro da atividade de planejamento da Indústria e que nasceu de seu antecessor na década de 1960, o Planejamento dos Recursos de Manufatura. Os primeiros sistemas SIGE foram projetados como uma ferramenta organizacional e de programação de produção para empresas de manufatura, posteriormente estendeu além dos limites do uso interno da empresa de manufatura e começou a incluir clientes e fornecedores (BABAEI *et al.*, 2015).

Desde então, as empresas investem em sistemas de informação apoiada pela Tecnologia da Informação e Comunicação para gerenciar suas operações e um número crescente de empresas está adotando a mesma estratégia. Alguns estudos têm afirmado que os sistemas SIGE podem aumentar a vantagem competitiva na era da TIC (SHEN *et al.*, 2016), (UGARTE *et al.*, 2009), (BUENO *et al.*, 2020).

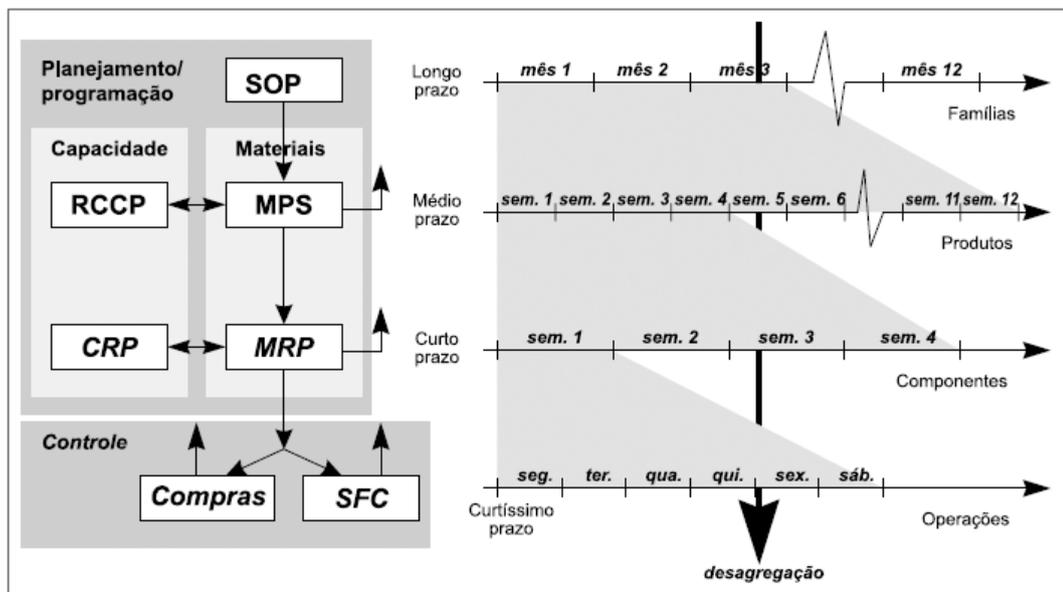
O SIGE é um sistema de gestão empresarial corporativo cada vez mais importante nos negócios modernos por causa de sua capacidade de integrar o fluxo de material, finanças e informações para dar suporte às estratégias organizacionais, cobrindo áreas funcionais de uma empresa como logística, produção, finanças, contabilidade e recursos humanos. O SIGE entrega dados consistentes em todas as funções de negócios em tempo real o que facilita o fluxo uniforme de informações e práticas funcionais comuns, melhorando assim, o desempenho da cadeia de abastecimento e reduz os tempos de ciclo de fabricação do produto. (ADDO-TENKORANG; HELO, 2012), (BABAEI *et al.*, 2015), (SHEN *et al.*, 2016).

O SIGE oferece dois benefícios principais que não existem em sistemas departamentais não integrados: i) uma visão corporativa unificada do negócio que abrange todas as funções e departamentos; ii) um banco de dados corporativo onde todas as transações comerciais são inseridas, registradas, processadas, monitoradas e relatadas. Isso permite que diferentes departamentos com necessidades diversas

se comuniquem entre si, compartilhando as mesmas informações em um único sistema. O SIGE desenvolve planos e cronogramas para que os recursos certos, como: mão de obra, materiais, maquinário e dinheiro - estejam disponíveis na quantidade certa quando necessário. Os benefícios tangíveis incluem redução de estoque, redução de pessoal, melhorias na gestão de pedidos, entre outros (BABAEI *et al.*, 2015), (SHEN *et al.* 2016).

O SIGE tradicional segue uma abordagem hierárquica de cima para baixo, em que o planejamento de fábrica programa os pedidos dos produtos do cliente e despacha os pedidos de fabricação para o chão de fábrica de acordo com o Plano Mestre de Produção que traduz em datas de início e término das operações para todos os subconjuntos e componentes da programação de produção de peças. Infelizmente o raciocínio fundamental desses sistemas é falho, pois o SIGE ignora as restrições de capacidade, assume que os prazos de entrega são fixos e não considera sequências de operação dos itens a serem produzidos. A estrutura da programação hierárquica pode visto na Figura 12. (CHEN; JI, 2007), (ÖZTÜRK; ORNEK, 2014), (SOUSA *et al.*, 2014).

Figura 12 – Hierarquia de programação



Fonte: Adaptado de Corrêa *et al.* (2001)

A utilização do SIGE sozinho não é suficiente, já que se concentra principalmente em questões de nível gerencial e é incapaz de evitar que problemas de capacidade ocorram no chão de fábrica. O SIGE adota uma abordagem de

configuração de tempo de espera e carregamento de capacidade infinita, o que é difícil de gerar um cronograma de Ordem de Produção eficaz. Portanto, para essa abordagem, o Sistema Avançado De Programação (SAP) lançado na década de 1990, visa resolver o problema da programação de capacidade finita no nível de chão de fábrica para o planejamento baseado em restrições. Problemas no chão de fábrica, como cargas de trabalho variáveis, gargalos, níveis elevados de estoques intermediários, ociosidade da máquina, entregas atrasadas não podem ser resolvidas facilmente a curto prazo. Deste modo, o SAP utiliza algoritmos matemáticos complexos para prever a demanda, planejar e programar a produção dentro de restrições especificadas e derivar soluções ideais de fornecimento e mix de produtos, gerando assim, produz um plano de produção viável (JEON *et al.*, 2017), (SHEN *et al.*, 2016), (HVOLBY; STEGER-JENSEN, 2010), (WANG *et al.*, 2021), (ÖZTÜRK; ORNEK, 2014), (SOUSA *et al.*, 2014).

Nos últimos anos, os sistemas SAP tornaram-se ferramentas de apoio à decisão, quando os principais fornecedores de SIGE começaram a integrar o SAP com o SIGE. O SAP não substitui, mas complementa os sistemas SIGE existentes, pois o SIGE lida com as atividades e transações básicas, enquanto o sistema SAP lida com as atividades diárias no chão de fábrica. Deste modo, os gestores de produção podem extrair o máximo destes sistemas, o ideal é que sejam integrados também com o Sistemas de Execução de Manufatura (HVOLBY; STEGER-JENSEN, 2010), (ÖZTÜRK; ORNEK, 2014), (ALLAOUI *et al.*, 2019). Todos esses sistemas integrados dentro da indústria podem ser denominados como Sistemas Ciber-Físicos de Produção (SCFP) e para que o SCFP possa desempenhar seu papel é necessário um sistema que monitore o chão de fábrica em tempo real, para isso surge o Sistemas de Execução de Manufatura (SEM) que será o assunto tratado a seguir.

## 2.5 SISTEMA CIBERFÍSCOS PARA A MANUFATURA

O Sistema Ciberfísico permite monitorar e compartilhar com eficiência vários tipos de informações sem erros dentro da manufatura. Neste sentido, Sistemas de Execução de Manufatura (SEM) pode ser visto como um SCF para manufatura em que, seu princípio de aplicação se concentra na integração de informações. O SEM foi desenvolvido nos anos 70 para auxiliar na execução da produção, com a proposta de gerenciamento *on-line* das atividades no chão de fábrica e a partir dos meados dos

anos 1990, o SEM evoluiu significativamente para aplicativos de software mais poderosos e integrados à medida que as tecnologias de computação avançaram, trazendo melhoras no controle e operacionalidade do chão de fábrica por meio da coleta e análise de dados em tempo real. Entretanto, a trajetória evolutiva do SEM contou com diversos percalços desde a sua criação, principalmente devido ao fato de que as características e particularidades das indústrias de diversos produtos são diferentes (NAEDELE *et al.*, 2015), (MANTRAVADI; MØLLER, 2019), (UGARTE *et al.*, 2009), (ELLIOTT, 2013), (YUE *et al.*, 2019).

O SEM pode ser descrito como a ponte entre o sistema de planejamento SIGE e os sistemas de controle, como sensores, Controladores Lógicos Programáveis (CLP) e afins, e utiliza as informações internas de fabricação, a exemplo de equipamentos, recursos e pedidos para apoiar os processos de fabricação. O SEM surgiu da necessidade de lidar com o progresso, recursos, manutenção, qualidade e monitoramento de procedência e requisitos de rastreamento na manufatura provendo o suporte à decisão para gerentes, pois o monitoramento dos dados de produção é visto como uma prática essencial para o controle de um processo de fabricação com alto nível de especialização (CORONADO *et al.*, 2018), (MANTRAVADI; MØLLER, 2019), (NAEDELE *et al.*, 2015).

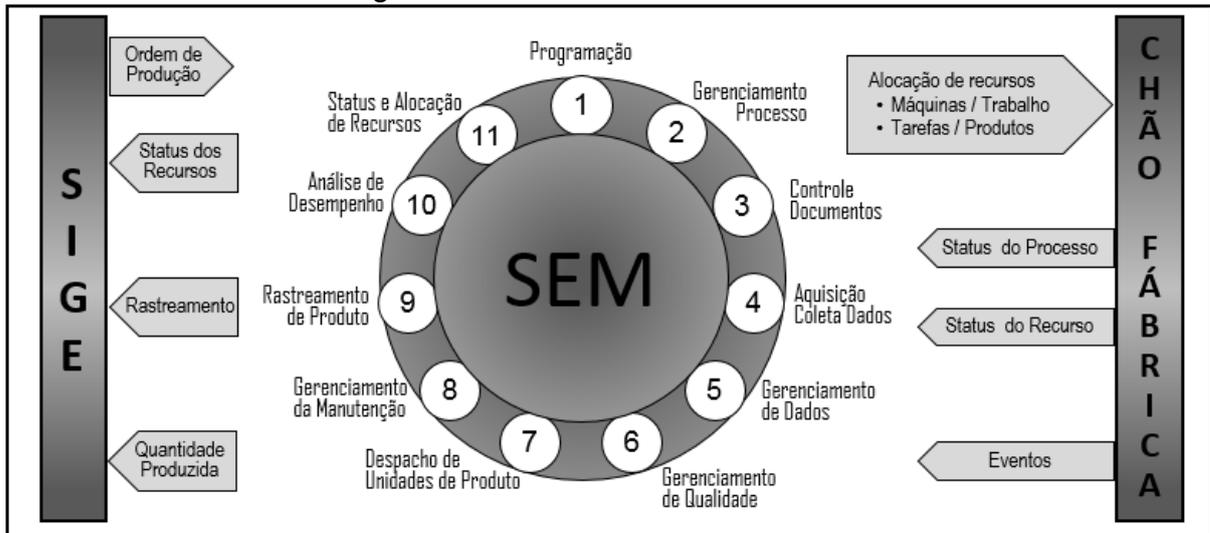
No conceito de fábricas inteligentes, as tendências para o futuro contam com compatibilização de softwares em tempo real, por meio da IoT fazendo com que o escopo de possibilidade do SEM se expanda, pois otimiza os processos de produção e negócios integrando informações corporativas. Entretanto, a adoção de um sistema SEM requer a instalação de hardwares dedicados, questões que podem ser bastante problemáticas para as pequenas e médias empresas em matéria de viabilidade, infraestrutura e recursos disponíveis para investimento (WITSCH; VOGEL-HEUSER, 2012), (MANTRAVADI; MØLLER, 2019), (CORONADO *et al.*, 2018).

Um SEM não executa de fato a fabricação (por exemplo, controle de equipamentos e produção de bens), mas sim, gerencia as atividades com base no cronograma de produção e na situação do chão de fábrica por meio da coleta, análise e apresentação dos dados gerados na produção industrial em tempo real. Ele deve ser capaz de gerenciar várias atividades como liberação de Ordens de Produção (OPs), execução e controle da produção, gerenciamento de status de equipamento, vinculando supervisão de chão de fábrica, entrega de material e gestão de consumo. Assim, evita completamente o trabalho de emissão de OPs em papel, por exemplo

(UGARTE *et al.*, 2009), (JEON *et al.*, 2017), (NAEDELE *et al.*, 2015), (MANTRAVADI; MØLLER, 2019).

Um modelo de referência, conforme mostrado na Figura 13, foi criado pela Associação de Soluções Corporativas para Manufatura, para definir 11 funções de módulo para atender às necessidades de uma variedade de ambientes de manufatura.

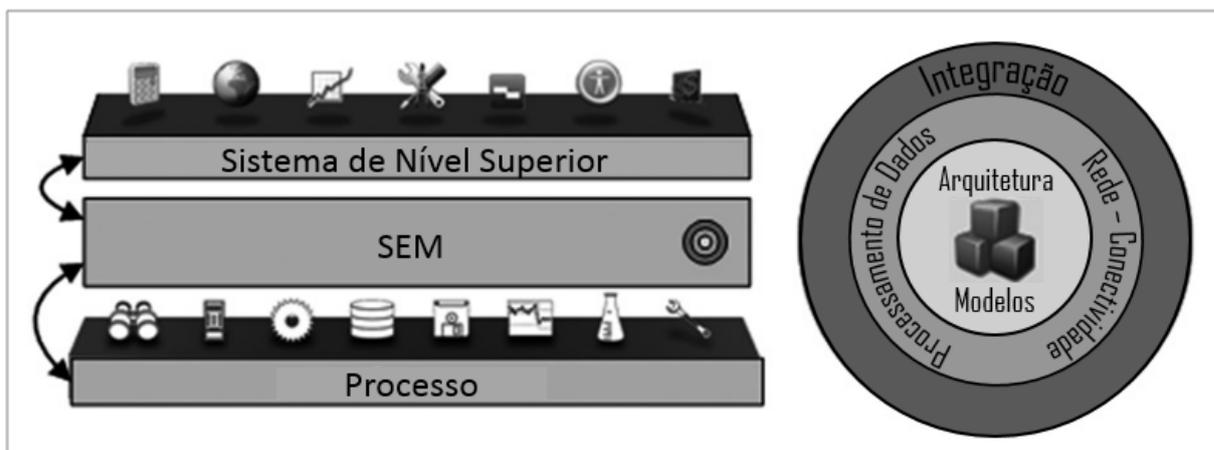
Figura 13 – Funcionalidades do SEM



Fonte: Adaptado de Ugarte *et al.*, (2009)

O Sistemas de Execução de Manufatura (SEM) utiliza um padrão de tecnologia para o projeto de fluxos de informações entre as aplicações de chão de fábrica e aquelas de um nível superior, este ambiente envolto no SEM pode ser visto na Figura 14.

Figura 14 – Camadas e ambiente de um SEM



Fonte: Adaptado de Ugarte *et al.* (2009)

As empresas que introduziram a proposta do SEM em suas organizações, puderam observar maior dinamização do fluxo de trabalho por meio da integração de dados, benefícios relacionados a redução do tempo de fabricação, melhoria da qualidade do produto, e racionalização da prática de manutenção preditiva. Além disso, um SEM fornece a análise de desempenho na medição de parâmetros de execução de tarefas, cálculo de indicadores-chave de desempenho (KPIs) na qualidade, disponibilidade, produtividade e compará-los com as metas estabelecidas pela organização ou órgãos reguladores externos, bem como apresentar e visualizar esses KPIs para várias partes interessadas (MANTRAVADI; MØLLER, 2019), (ELLIOTT, 2013), (NAEDELE *et al.*, 2015).

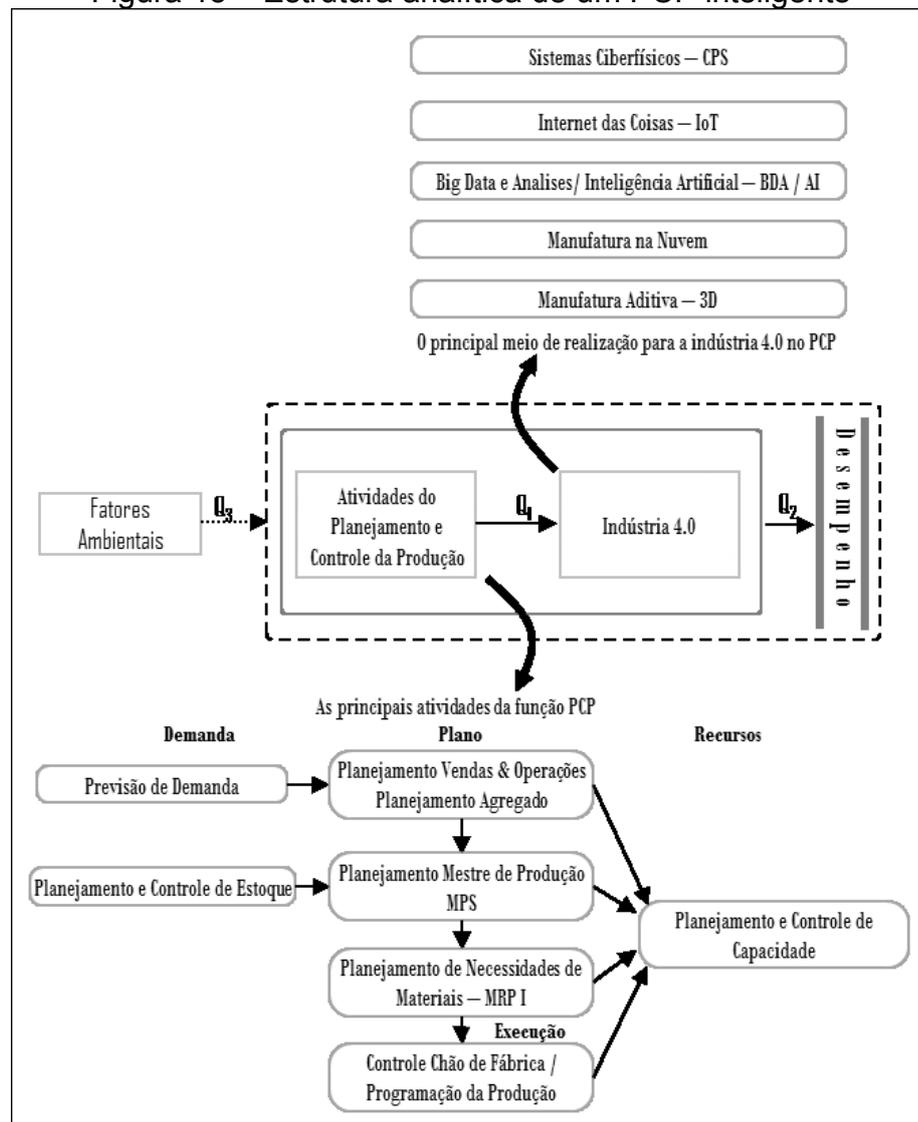
A variedade de tipos de equipamentos de fabricação complica a conectividade do chão de fábrica, e muitas das empresas de manufatura atuais têm dificuldade em lidar com atividades de gerenciamento de manufatura, principalmente devido à falta de infraestrutura para coleta de dados, análise e integração de dados de manufatura. Isso significa que não há como obter dados úteis do chão de fábrica, sem a adoção de tecnologia que transportam dados de várias fontes em vários formatos e usando várias interfaces de comunicação. Neste sentido, a integração de um SEM e um Sistema Integrado de Gestão Empresarial (SIGE) é um modelo de dados consistente e essencial para a integração horizontal e vertical dos sistemas (JEON *et al.*, 2017), (UGARTE *et al.*, 2009), (WITSCH; VOGEL-HEUSER, 2012).

A implantação de sistemas SEM e SIGE integrados exige a instalação de hardware dedicado e configura a arquitetura do Sistema Ciberfísico de Produção (SCFP). A integração automatiza a transferência de informações entre o SIGE e o SEM, evitando erros de dados durante a entrada manual, acelerando a geração de relatórios, permitindo o planejamento de produção flexível e substituindo operações manuais repetidas. Nessa arquitetura, o SEM registra a entrada de material, o uso de consumíveis, o fluxo do produto e coloca os planos fornecidos pelo sistema SIGE em prática no chão de fábrica lidando com problemas de qualidade e falhas nas instalações provendo à função PCP capacidades inteligentes e atributos em que vinculam o planejamento e controle de chão de fábrica e suas atividades de interface (JEON *et al.*, 2017), (CORONADO *et al.*, 2018), (WITSCH; VOGEL-HEUSER, 2012).

A estrutura analítica de um PCP inteligente tem a modelagem baseada em dois agentes, em que o agente de pedidos monitora o cronograma geral, monitora o pedido, especifica a rota do processo, reserva os recursos apropriados e executa o

controle de produção. O agente de recursos monitora se o recurso correspondente pode ser operado ou não, e por meio da utilização da etiqueta de Identificação por Rádio Frequência (IDRF) na ordem de produção ou pelo *feedback* dos CLPs das máquinas, indicando se o trabalhador está operando a máquina ou não, o que poderia alterar uma programação original (BUENO *et al.*, 2020), (JEON *et al.*, 2017). A Figura 15 apresenta a estrutura de PCP inteligente.

Figura 15 – Estrutura analítica de um PCP inteligente

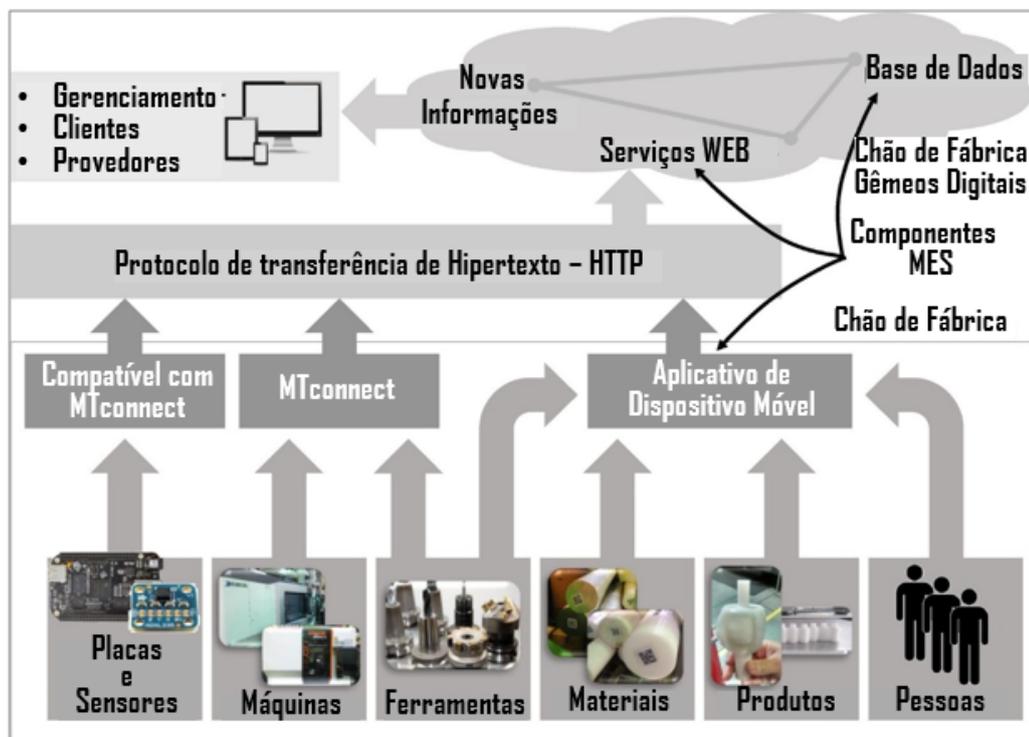


Fonte: Adaptado de Bueno *et al.* (2020)

Uma visão geral da SCFP prevista neste trabalho pode ser vista na Figura 16 que mostra na parte inferior os componentes da fábrica física: esses componentes incluem máquinas e dispositivos de detecção discretos que transmitem dados para a

plataforma na nuvem; ferramentas, produtos, materiais e pessoas, cujas informações são fornecidas diretamente para a plataforma usando o SEM. Os componentes relacionados à nuvem são mostrados no lado superior direito e esses componentes incluem as informações armazenadas no banco de dados, os serviços *web* usados para gerenciamento das informações. Essas informações geradas pelas máquinas e dispositivos compatíveis com o SEM são partes integrantes do *Shop Floor Digital Twin* que podem ser disponibilizadas para gerentes, fornecedores ou clientes, que realizem ações relacionados com a fábrica (CORONADO *et al.*, 2018).

Figura 16 - Visão geral do *Digital Twin* de chão de fábrica



Fonte: Coronado *et al.* (2018)

A adoção dessas tecnologias traz grandes benefícios para as indústrias e a seguir serão apresentados alguns estudos de caso dessa aplicação.

## 2.6 APLICAÇÃO DE SCF NA INDÚSTRIA TÊXTIL E VESTUÁRIO

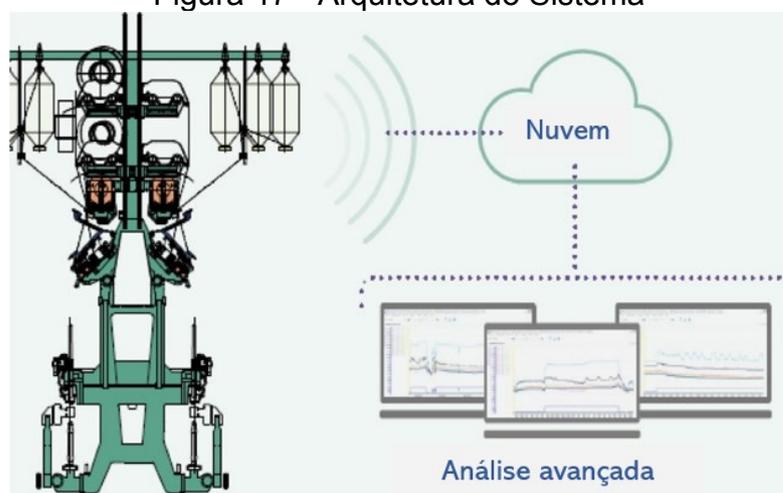
A seguir serão apresentadas as aplicações de Sistemas Ciber-Físicos nas indústrias Têxteis e Vestuário ao redor do mundo encontrado na revisão de literatura.

### 2.6.1 Aplicação de SCF em fiação

Em um estudo de caso, Manglani *et al.* (2019) apresenta a aplicação de Sistemas Ciber-Físicos no monitoramento da produtividade do filatório em relação a qualidade das misturas de algodão no fio, que são enviadas à sala de controle tendo uma conexão direta com os departamentos de Pesquisa & Desenvolvimento e Controle da Qualidade. O sistema utiliza dados da máquina no processo de produção, como status das máquinas, níveis de pressão / lubrificação, temperaturas, nível de desgaste de componentes críticos, alarmes, consumo de energia e dados de qualidade do produto.

Por meio deste sistema é melhorada a produtividade, reduzindo os tempos de parada não planejados das máquinas, evitando grandes falhas, aumentando a vida útil da planta, resultando em maior eficiência com redução de custos de manutenção e redução do tempo de inatividade em até 30%, além de economizar aproximadamente 320 fardos de algodão / ano como resultado de um rendimento de fibras boas. A Figura 17 mostra a arquitetura do sistema da máquina e a nuvem.

Figura 17 - Arquitetura do Sistema



Fonte: Adaptado de Manglani *et al.* (2019)

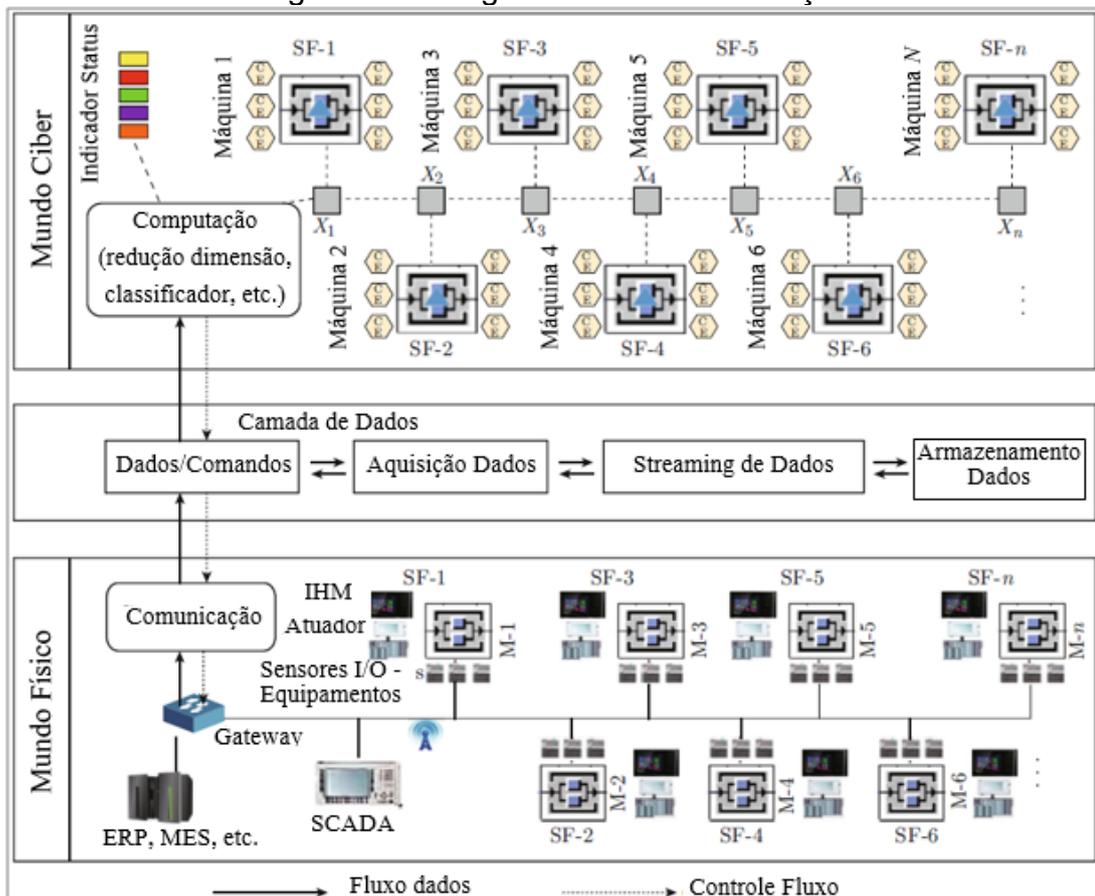
O estudo a seguir Farooq *et al.* (2020) mostra o processo de produção da fiação que envolve operações estiragem, torção e bobinagem. Vários fatores afetam a qualidade do fio em relação à eficiência da máquina, incluindo velocidade de fiação, fricção, fase de tensão, diâmetro da fibra, espessura do fio e carga. A produção da fiação é um processo de manufatura contínua e de alta velocidade, que sofre de

diversos distúrbios dinâmicos, como quebra da máquina, trabalho com baixa qualidade e atraso na liberação do trabalho.

A primeira etapa no desenvolvimento do sistema de monitoramento de integridade é identificar os componentes críticos, bem como seu impacto no desempenho do sistema ou no custo do tempo de inatividade. Os elementos computacionais garantem o sistema disponível para processamento de dados em tempo real para detecção e identificação de falhas durante as operações de confecção do fio.

Por causa das características do Sistema Ciber-Físico de Produção (SCFP), o algoritmo de detecção e identificação de falhas encontra anormalidades por meio da abordagem de aprendizado heurístico de máquina. Os algoritmos com base na análise do sistema e dos cenários de falhas, geram um diagnóstico de manutenção inteligente desenvolvido para apoiar o processo de tomada de decisão e é aplicado antes que o sistema de produção em massa seja interrompido. A figura 18 apresenta o diagrama de interação do sistema físico-virtual.

Figura 18 – Diagrama do SCFP da fiação



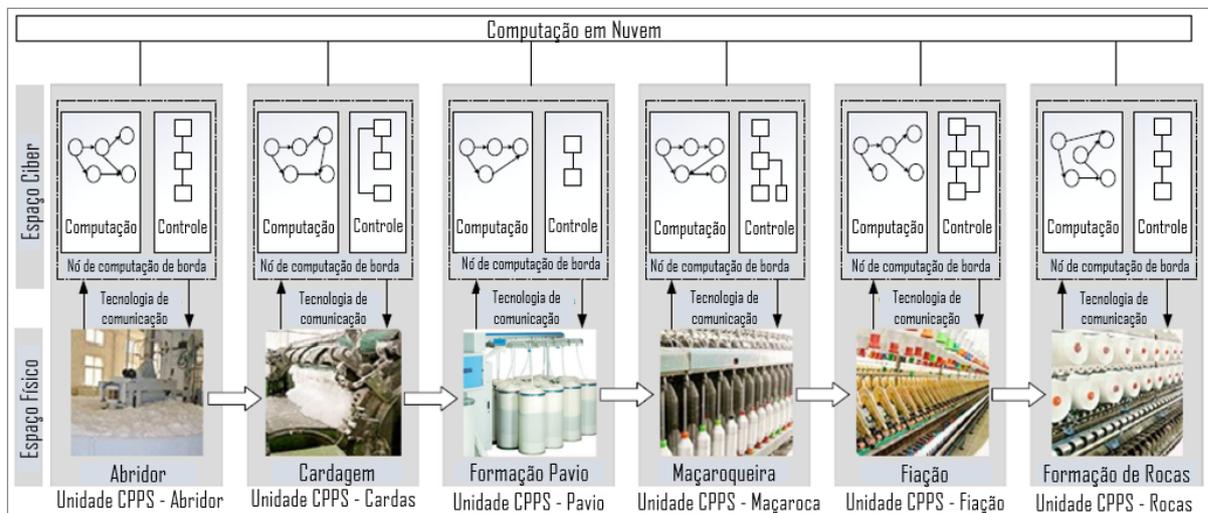
Fonte: Adaptado de Farooq et al. (2020).

Neste estudo Yin *et al.* (2020) é apresentada a aplicação da “computação de borda” em um SCFP aplicado a uma fiação, que consiste no processamento dos dados no *hardware* próximo a coleta dos dados, otimizando assim, o uso de banda de comunicação com a nuvem e aumentando o tempo de resposta do monitoramento em tempo real oferecendo suporte à manutenção preditiva, gerenciamento de recursos/eficiência de energia e substituição flexível de dispositivos.

A fiação é uma produção contínua em várias etapas e cada etapa tem diferentes velocidades de produção devido aos requisitos do processo. Para gerenciar as operações contínuas, de alta velocidade e dinâmicas de uma manufatura de fiação, foram propostos mecanismo de colaboração e um algoritmo para processamento de tarefas em tempo real em todos os pontos de coleta de dados.

O estudo de caso em questão foi realizado para validar o desempenho dos modelos e algoritmos propostos e os resultados indicam que o método proposto pode reduzir significativamente a latência do processamento de tarefas em tempo real e aumentar a eficiência da produção. A estrutura do SCFP é apresentada da Figura 19.

Figura 19 – Estrutura do SCFP de uma fiação



Fonte: Adaptado de Yin *et al.* (2020)

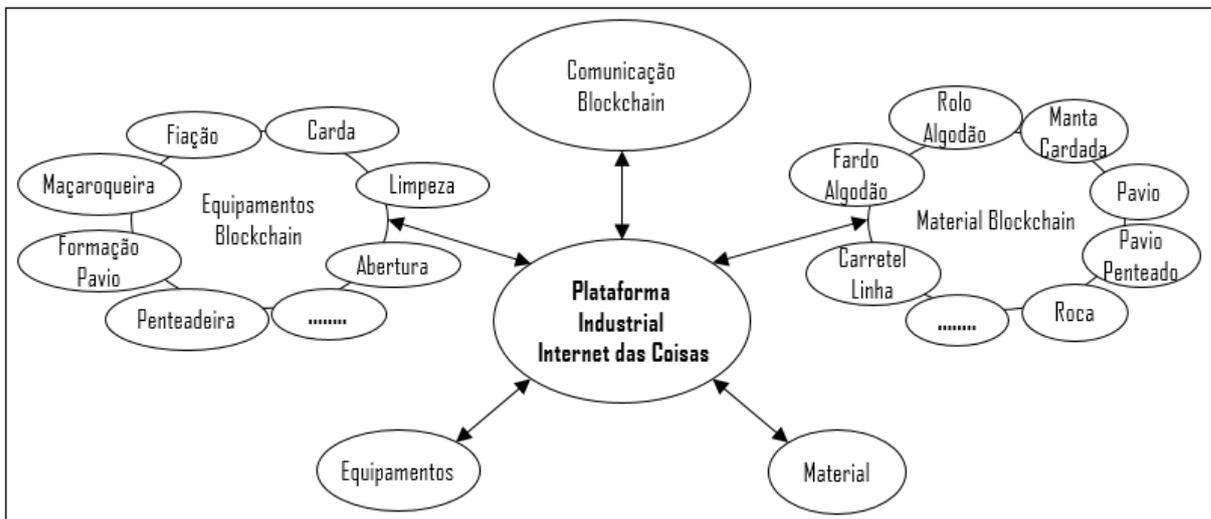
Neste estudo a seguir Yin *et al.* (2017) mostra a utilização da tecnologia *Blockchain* na segurança da comunicação dos SCF entre máquinas de uma fiação. A arquitetura SCF orientada para a produção de algodão envolve uma camada física inferior de máquinas, dispositivos, energia, ambiente e trabalhadores e uma camada intermediária da rede industrial baseada em vários tipos de sensores inteligentes,

Identificação por Radio Frequência, WiFi e etiquetas. Nesse projeto, centenas de sensores de alto desempenho precisaram ser implantados em uma única cadeia de produção de algodão para diferenciar máquinas, equipamentos ou matérias-primas.

Este modelo é capaz de operar com interconexões de dispositivos heterogêneas e pode efetivamente evitar problemas de não interconexão causados pela heterogeneidade dos dispositivos e as quantidades de cálculo da criptografia de dados de comunicação usando a tecnologia *blockchain*. Os materiais no processo de produção da fiação de algodão estão sempre mudando, e para enfrentar esse desafio, projetou-se o *blockchain* de maneira que pode ser estabelecido para rastrear as mudanças dos materiais e sua influência na qualidade do produto.

Durante a produção da fiação do algodão, os dados do próprio dispositivo e os dados associados aos dispositivos podem ser perdidos devido à substituição dos dispositivos. Na Figura 20 – apresenta o diagrama de comunicação *blockchain* do modelo de sistema proposto. A tecnologia *blockchain* pode não apenas preservar os dados históricos completos, mas também evitar que os dados sejam modificados ilegalmente.

Figura 20 – Diagrama da comunicação *blockchain*



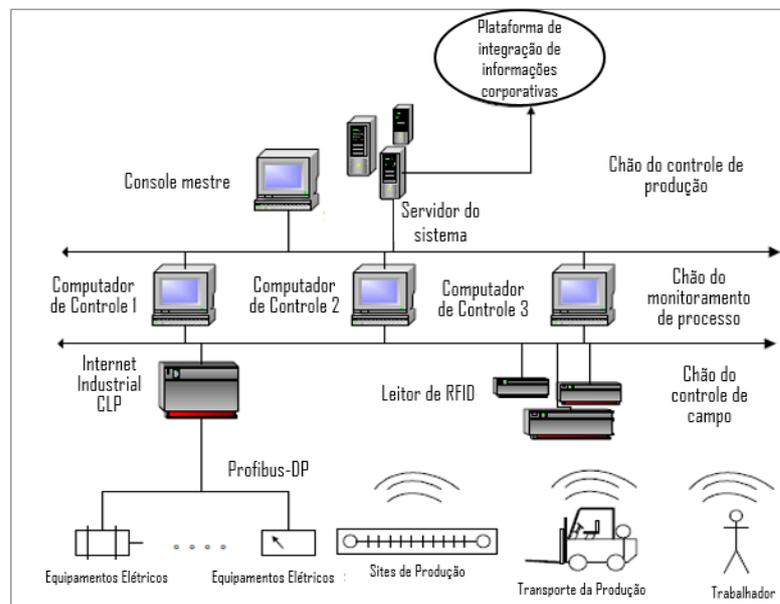
Fonte: Adaptado de Yin *et al.* (2017)

Este estudo a seguir Hua *et al.* (2008) faz uma abordagem em uma empresa de fiação para dominar os dados de produção em tempo real, como cronograma de produção, quantidade de matéria-prima em processo, armazenamento de material em processo, processo de produção no chão da fábrica. Essas informações de

manufatura dinâmica são integradas ao sistema de gestão empresarial, de modo a responder rapidamente às mudanças do mercado e ajustar o plano de produção e compras. A qualidade da produção pode ser gerenciada de forma dinâmica, fornecendo informações básicas para a rastreabilidade da qualidade da produção.

Por meio da integração da tecnologia Identificação por Rádio Frequência (IDRF) no atual sistema Sistemas de Execução de Manufatura (SEM), as informações precisas podem ser transferidas em tempo real, portanto, a produtividade pode ser aumentada e a taxa de utilização dos ativos pode ser melhorada. O controle de qualidade de nível superior e todos os tipos de medição *on-line* podem fornecer informações básicas para o ajuste de otimização do plano de produção. Considerando sua capacidade de produção, a empresa pode desta maneira, estabelecer um plano de produção razoável e um plano auxiliar para atender às mudanças do mercado. A Figura 21 mostra a arquitetura do sistema.

Figura 21 – Arquitetura geral do sistema



Fonte: Adaptado de Hua *et al.* (2008)

### 2.6.2 Aplicação de SCF em tecelagem

O estudo a seguir, Shao *et al.* (2015) aborda os problemas de integração de sistemas e gerenciamento de dados no processo de manufatura têxtil. Esses dados massivos de cada processo são analisados e o fenômeno de convergência ineficiente

de informações têxteis entre a camada de planejamento de produção e a camada de fabricação.

A complexa situação de trabalho encontrada na programação da produção da indústria de tecelagem em que, a variedade de troca de informações e comunicação, bem como os resultados gerados pelos dados de detecção de imagem *online* de defeitos de fio e defeitos de tecelagem, fornece um novo método para detecção em tempo real da qualidade do tecido em ambiente de *Big Data*.

A Inspeção em tempo real da qualidade do produto acabado gera as informações de dados que são armazenadas no sistema, processadas e disponibilizadas no módulo de função de interação homem-computador da qualidade do fio de algodão.

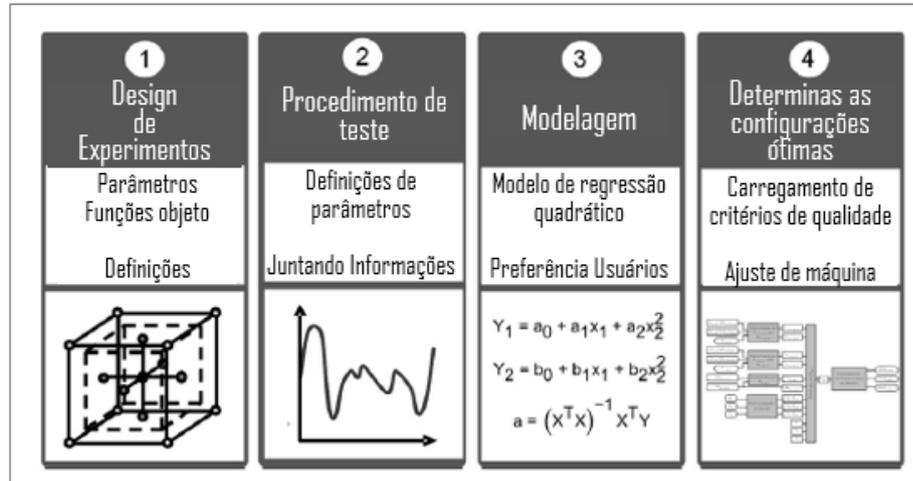
O processo de dados quantitativos vem da camada de planejamento superior pelo Sistema Integrado de Gestão Empresarial (SIGE) (incluindo pedidos, matérias-primas, planejamento de processo, dados de processo de tecelagem de teste, etc.) e é fundido com os dados extraídos dos atributos de fibra e qualidade do fio no sistema de armazenamento por meio da rede interna de dados da empresa, assim resultando num SEM de monitoramento do ambiente têxtil e que pode ser adequado para todos os tipos de tecelagem.

O estudo a seguir Saggiomo *et al.* (2016) buscou abordar uma problemática dentro de uma empresa de tecelagem em que a tendência para tamanhos de lote pequenos requer tempos de ciclo mais curtos e maiores quantidades de *setup*. Um tear com cerca de 200 parâmetros deve ser reconfigurado após cada troca de tecido para atender às expectativas do cliente, e para encontrar a configuração ideal para a máquina, o operador do tear deve realizar testes de tecelagem. Esses testes geralmente demorados exigem experiência do operador e podem necessitar até 120 m de tecido até que os parâmetros ideais sejam encontrados.

Este estudo apresenta um algoritmo para auto-otimização da multi-parametrização do processo de tecelagem e a integração deste algoritmo no controle do tear em que a parametrização é atualizada para uma unidade cognitiva, o Sistema Ciberfísico de Produção (SCFP) no chão de fábrica. O algoritmo de auto-otimização identifica uma combinação de parâmetros da máquina, e ajusta as configurações essenciais do processo de tecelagem que é implementada em um Controlador Lógico Programável (CLP) em que o software permite que o tear calcule as configurações de parâmetros ideais de forma autônoma. As preferências individuais dos operadores ou

do gerenciamento da planta são integradas aos cálculos e com a ajuda do tear cognitivo resultante, o tempo de configuração foi reduzido em 75%. Na Figura 22 pode ser visto as etapas do programa de auto-otimização.

Figura 22 - Etapas do programa de auto-otimização



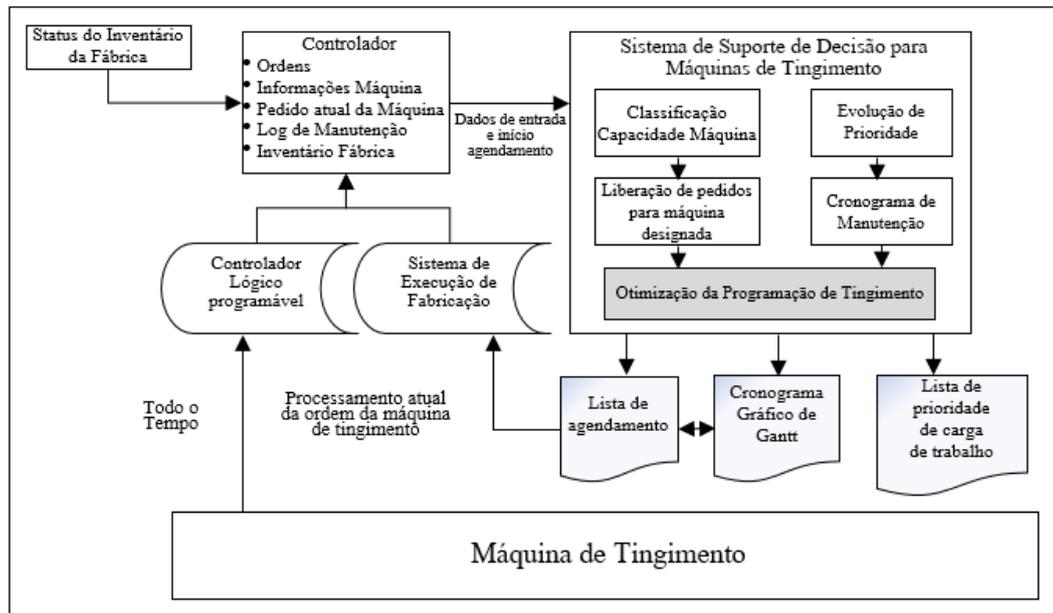
Fonte: Adaptado de Saggiomo *et al.* (2016)

### 2.6.3 Aplicação de SCF no tingimento

Neste estudo de caso relatado por Ku *et al.* (2020) mostra uma abordagem eficaz para a transformação digital e na construção de um sistema de apoio à decisão para programação de máquinas de tingimento. Neste trabalho foi desenvolvido um sistema de suporte integrando os dados do Controladores Lógicos Programáveis (CLP) da máquina de tingimento e as informações de produção de pedidos do Sistemas de Execução de Manufatura (SEM) para classificar a prioridade de pedidos e regras de programação.

A decisão definida para a programação da máquina de tingimento incorpora 5 subproblemas, que são: i) classificação da capacidade da máquina; ii) liberação do pedido para a máquina atribuída; iii) avaliação de prioridade; iv) programação de manutenção e otimização para programação da tinta. Baseado nestas necessidades, foi criada uma estrutura do sistema de apoio à decisão em que os dados, como pedidos, informações da máquina, pedido atual da máquina, programação de manutenção e estoque de tecidos, são coletadas do SEM, CLP ou outros sistemas relacionados e integradas, aumentando assim a eficiência do sistema. O diagrama do sistema pode ser visto na Figura 23.

Figura 23 - Sistema de apoio à decisão para programação de tingimento.



Fonte: Adaptado de Ku *et al.* (2020)

A seguir, outro estudo de caso de Park *et al.* (2020) apresenta um método que melhora a eficiência energética do processo de tingimento foi desenvolvido com base no conceito Sistema Ciber-Físico Energético- SCFE. No processo de tingimento, o tecido é fornecido pelo comprador que solicita o tingimento e acabamento, e nenhum custo relacionado à compra do tecido é associado ao tingimento, sendo suportados por estas etapas do processo apenas os relacionados à energia.

Deste modo, o SCFE foi implementado visando o processo, que é o principal consumidor de energia em tinturaria e acabamento com o objetivo de identificar e solucionar as ineficiências do processo de tingimento atual e reduzir a possibilidade de reprocesso de tingimento por causa de defeitos. É comum no tingimento o operador local ajustar as instruções de processo com base em suas informações empíricas e usa-as para controlar a máquina de tingimento, o que muda continuamente o controle e o processo do trabalho. A Figura 24 mostra as máquinas de tingimento usadas no estudo de caso.

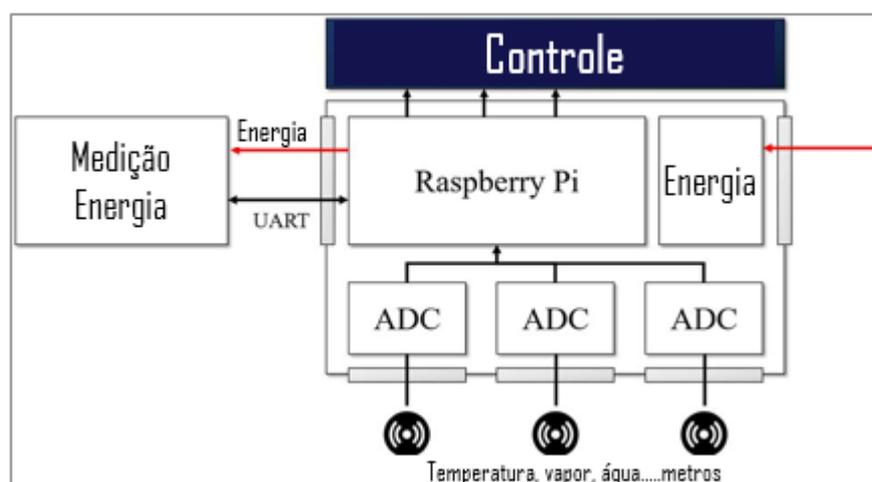
Figura 24 - Máquinas de Tingimento



Fonte: Park *et al.* (2019)

O sistema implantado recupera os dados de produto, processo e recursos, do banco de dados da produção integrados ao Sistema Integrado de Gestão Empresarial (SIGE) e os indexa para uso dentro do SCFE. O sistema, no mundo cibernético, opera com base nos dados coletados, evitando o uso indevido de energia, melhorando assim, a eficiência do processo. A Figura 25 mostra o diagrama industrial do Sistema Ciber-Físico Energético.

Figura 25 – Gateway SCFE



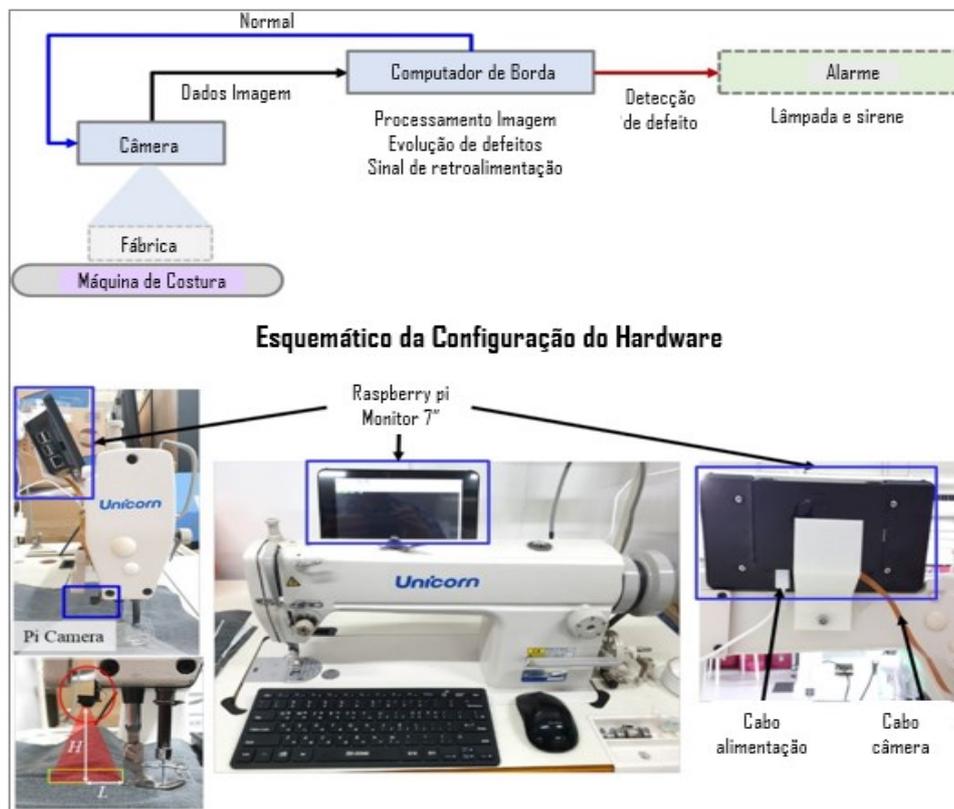
Fonte: Adaptado de Park *et al.* (2019)

### 2.6.4 Aplicação de SCF em confecção

Os autores Jung *et al.* (2021) descrevem um estudo de caso em que um sistema é desenvolvido aplicando tecnologia de fábrica inteligente. Em um processo de costura tradicional, se ocorrer um defeito no meio do processo de costura de uma roupa, o defeito permanece até o estágio final de inspeção. Os produtos defeituosos identificados na inspeção de qualidade são devolvidos ao processo após a desmontagem, incorrendo em custos e resultando em perdas de tempo e mão de obra.

Uma empresa de costura desenvolveu um SCF que analisa imagens da máquina de costura usando Inteligência Artificial para resolver esse problema, sendo que a composição do hardware de visão por meio de câmeras de baixo custo e pequenos computadores como o Raspberry Pi, foi utilizado porque é relativamente barato e pode satisfazer os requisitos. O processo de costura foi filmado com uma pequena câmera fotográfica, após o processamento da imagem de costura e detecção de falha, um alarme foi soado no caso de um defeito. Na Figura 26 é mostrada a configuração do sistema de *hardware* e o dispositivo de inspeção a desenvolvido.

Figura 26 – Configuração do sistema



Fonte: Adaptado de Jung *et al.* (2019)

Este estudo a seguir, Ha *et al.* (2019) apresenta uma confecção com estratégia de implementar a digitalização da manufatura a fim de adaptar as tecnologias da Indústria 4.0 à realidade da empresa. Os trabalhos começaram com o desenvolvimento de ferramentas necessárias para digitalizar todos os processos, desde o armazém, recepção dos tecidos e acessórios, passando pelas áreas de produção, controle de qualidade e entrega para os clientes. A sistemática consiste em permitir atualizações em tempo real dos estoques, em que os planos de corte e Ordens de Produção (OPs) são monitorados por um sistema em que os diferentes lotes são incorporados às *tags* com Identificação por Rádio Frequência (IDRF).

O sistema Sistemas de Execução de Manufatura (SEM) apoia a operação no controle de montagem no chão de fábrica, eficiência de produção e tempos de fabricação. Para realizar essas tarefas, o software responde a cinco itens: i) quais lotes estão prontos para entrar em produção; ii) identificar em tempo real o que está em processo de trabalho; iii) avaliação dos níveis de produtividade e eficiência de cada trabalhador; iv) acompanhamento dos lotes e ordens de produção no processo (conforme departamento de planejamento); v) medir a eficiência global e os custos de produção; iv) acompanhamento dos lotes e OPs no processo.

A sala de corte possui um Desenho Assistido por Computador para preparar o plano de corte de acordo com o pedido do cliente e os trabalhadores colocam as diferentes peças do padrão nos planos de corte e preparam os marcadores com a melhor solução. Com a digitalização é possível selecionar os rolos de tecido mais adequados, reduzindo as sobras de tecido e encontrando a melhor largura para obter economia de tecido. As operações de espalhamento e corte são monitoradas (usando leitores de código de barras), fornecendo relatórios que podem ser usados para o Planejamento dos Recursos de Manufatura de outros processos de fabricação.

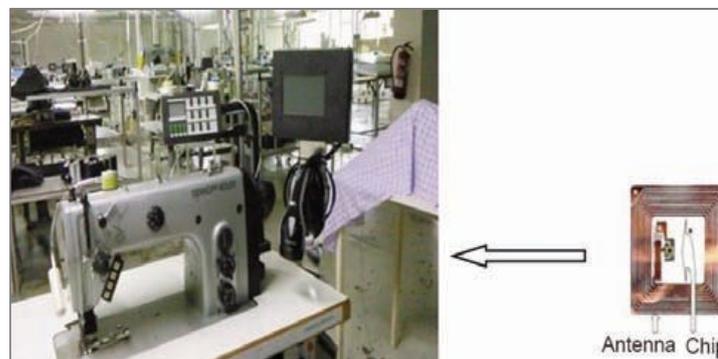
As operações de montagem seguirão as instruções técnicas e entrarão no fluxo de trabalho em lotes dotadas de etiquetas IDRF, conforme Figura 27. Na Figura 28 é mostrada as máquinas de costura que possuem um leitor de código de barras onde o operador insere o novo lote de informações. Depois disso, o operador faz as operações, o sistema registra os tempos e calcula as eficiências.

Figura 27 – Peças cortadas e com as *tags* IDRF incorporadas



Fonte: Ha *et al.* (2019)

Figura 28 – Máquinas de costura com leitor de etiquetas IDRF



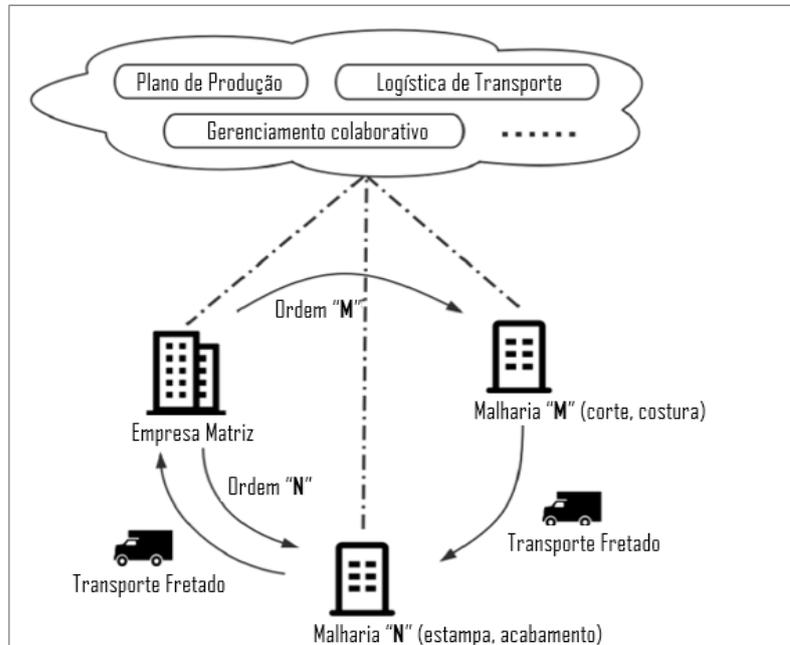
Fonte: Ha *et al.* (2019)

Em outra aplicação, Wang *et al.* (2018) apresenta o estudo de uma confecção que utiliza um sistema SEM com armazenamento e processamento de dados na nuvem e rastreamento do processo de fabricação em tempo real por meio de *tag's* IDRF. Antes do processo de produção, o sistema SEM envia as instruções do sequenciamento de produção para as peças com a etiqueta IDRF de acordo com o plano de produção estabelecido. Em seguida, com base na configuração IDRF correspondente, o produto avança em cada etapa produtiva onde há uma mudança de estado da etiqueta, sendo assim monitorada ao longo do fluxo do processo.

A empresa em questão terceiriza em duas fábricas de roupas as tarefas de processamento e usa sistema SEM em nuvem ao mesmo tempo nessas duas fábricas. O sistema SEM é inicializado e os recursos de manufatura das duas plantas de processamento (como máquinas-ferramentas, equipamento IDRF, etc.) são integrados para formar uma fábrica conjunta virtual, que é gerado automaticamente na nuvem das duas plantas de acordo com os dados do pedido. A Figura 29 mostra o

diagrama esquemático de uma fábrica conjunta virtual formada pela empresa de confecções e fábricas de processamento terceirizadas.

Figura 29 – Diagrama da fábrica virtual



Fonte: Adaptado de Wang et al (2018)

De acordo com os requisitos do sistema SEM em nuvem, a fábrica de processamento de roupas (M) é responsável pelo corte, costura e demais pré-processamento da camisa, transporte dos produtos semiacabados para a fábrica de processamento de vestuário (N) e a fábrica de processamento de vestuário N é responsável pelo acabamento das roupas. De acordo com os dados IDRF coletados, o sistema SEM realiza mineração de dados por meio de processamento de *Big Data*, atualiza a programação em tempo hábil e ajusta o plano de produção.

Em termos de logística e transporte durante o processo de transferência, o sistema SEM fornece monitoramento em tempo real do local de transporte, pessoal de inspeção de qualidade e outras informações importantes por meio de dispositivos móveis, como telefones celulares, para visualizá-los a qualquer momento.

Neste outro estudo de caso, Ha et al. (2018) mostra uma empresa se confecção de vestuário implantou um Sistema Ciberfísico para atender algumas necessidades, tais como: pedidos prontos para entrar em produção; coletar tempo real médio de produção por peça; avaliar os níveis médios individuais de produtividade; rastreamento de peças em produção e eficiência de produção da empresa. Além

disso, avançar na digitalização dos processos para organização estoques de matéria-prima de forma adequada.

O processo de costura começa com a distribuição dos lotes de produção nas máquinas de acordo com as operações a serem realizadas para o acabamento da camisa. Em cada posto de trabalho, o operador tem acesso a informações detalhadas, passo a passo com uma descrição do que fazer e como fazer, todas as informações são mostradas aos trabalhadores na próxima etapa antes que eles façam e esses dados são coletados por código de barras acoplados a cada máquina.

No início da tarefa, a entrada do código de barras informa exatamente o trabalho a ser executado e essa tarefa termina com o *scanner* de código de barras para concluir o trabalho. Em seguida, os dados são atualizados automaticamente no sistema gerando relatórios que os gerentes podem acompanhar referente a produtividade do processo.

#### **2.6.5 Demais aplicações de SCF na indústria têxtil**

A seguir Ślusarczyk *et al.* (2019) traz os resultados do estudo que revelaram como a Indústria 4.0 contribuiu positivamente para a eficácia da produção e dos serviços da indústria têxtil. Os resultados do estudo foram baseados na coleta de dados selecionados de empresas têxteis da Malásia.

O SCF e os SCFP da Indústria 4.0 são iniciados e implementados pelo desenvolvimento de entidades computacionais na organização da produção em que a manufatura física seria controlada pelo SCF integrado com o planejamento da manufatura. O SCFP inclui humanos, diferentes tipos de máquinas e vários produtos, além de procedimentos físicos utilizados na manufatura para tornar a produção mais eficaz em termos de custo e tempo com serviços e produtos extremamente capacitados.

O SCF é o elemento mais importante da Indústria 4.0, o que afeta positivamente a produção e serviços, e um aumento nas tecnologias SCF aumenta os resultados da produção das empresas têxteis. Entretanto, a implementação de tecnologias da Indústria 4.0 é uma tarefa difícil, por isso a implementação adequada da tecnologia é uma etapa muito importante para o sucesso.

O estudo a seguir Imran *et al.* (2018) traz uma pesquisa tipo *survey* de setores de produção e serviços das indústrias têxteis e logística do Paquistão. Foram no total

224 respondentes e os resultados mostram que os Sistemas Ciber-Físicos e a interoperabilidade têm uma relação estatisticamente significativa com processos e os resultados demonstram que uma melhor implementação de tecnologias de fábrica inteligente levará a uma maior produção e serviços.

Os resultados positivos e significativos dos Sistemas Ciber-Físicos e da Internet das Coisas encontrados, demonstram o benefício para os gerentes, no sentido de que eles podem garantir as práticas obrigatórias da Indústria 4.0 nas indústrias têxteis e de serviços em geral. Assim, o estudo é mais vantajoso para os administradores na hora de traçar as estratégias para melhorar o desempenho das indústrias têxtil e de logística.

Neste outro estudo, Chen (2019) traz o resultado de multicasos em quatro empresas têxteis de Taiwan e as contribuições teóricas deste estudo incluem a proposição de uma estrutura de pesquisa preliminar usando ecossistemas de Internet das Coisas (IoT) e SCF para analisar a participação da Cadeia de Valor Global - CVG de indústrias têxteis. Identificou-se tecnologias inteligentes que apoiam essa participação, permitindo assim a análise da cocriação de valor dentro dos modelos de negócios.

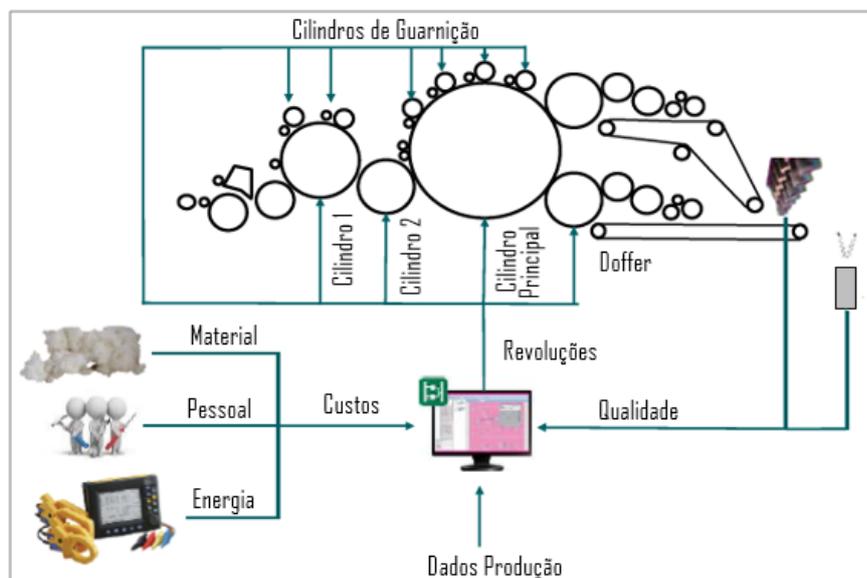
Os resultados obtidos mostraram que as empresas de manufatura podem alcançar a proximidade do cliente por IoT ou SCF que colocam suas operações em contato próximo com os usuários finais, mudando assim sua posição dentro da CVG. Para isso precisarão usar a tecnologia da Indústria 4.0 para controlar os estágios de design, marketing e serviço da participação do CVG para aumentar a criação de valor. A aplicação dessas tecnologias pode oferecer uma visão sobre as experiências de uso dos clientes e satisfazer as necessidades de diversos canais no exterior em um caminho que aumenta a eficiência da produção e aproxima as empresas de seus mercados finais.

Neste último estudo, Cloppenburg *et al.* (2017) apresenta a aplicação de soluções da Indústria 4.0 na indústria de tecelagem de tecido não tecido. A estrutura de custos da indústria de não tecidos é única na indústria têxtil em que a parcela de custo de pessoal, energia e máquinas são altas para os produtores de tecidos não tecidos. Portanto, os desenvolvimentos da indústria 4.0 na indústria de tecidos não tecidos devem se concentrar na redução dessas participações, usando a força de trabalho de forma eficiente para aumentar a produtividade e a qualidade diminuindo a produção de resíduos e os tempos de parada.

Para a produção do tecido não tecido, três parâmetros de configuração (por exemplo: tensão média de dobra, posição do movimento de parada de dobra e velocidade da máquina) resultam em várias configurações diferentes para serem executadas no tear. Os sensores coletam informações sobre a tensão de dobra nas diferentes configurações e os valores-chave da tensão são calculados a partir do valor medido e aplicado um algoritmo para calcular as melhores configurações da máquina.

Também uma câmera de inspeção de material foi instalada no tear para realizar a inspeção do tecido para apoiar o tecelão e para ensinar o novo pessoal a manusear um tear. Os dados coletados são armazenados e analisados em *Big Data* e oferece a chance de otimização constante da produção e manutenção. Além disso, auxilia na rastreabilidade do produto e na prevenção de falhas do produto. Na figura 30 apresenta o diagrama de digitalização dos dados do processo.

Figura 30 – Digitalização do processo de Tecido Não Tecido



Fonte: Cloppenburg et al. (2017)

Um resumo dos artigos obtidos da revisão de literatura, trazendo o foco e seus respectivos resultados da aplicação de Sistemas Ciber-Físicos dentro dos segmentos da indústria Têxtil e Vestuário no contexto mundial, é mostrado no Quadro 3 e 4.

Quadro 1 – Resumo dos artigos da revisão de literatura – Parte 1

<b>Tipo</b>	<b>Autor</b>	<b>Foco</b>	<b>Resultados</b>
Estudo de Caso	Hua <i>et al.</i> (2008)	Integração do IDRF em um SEM em uma empresa de fiação para monitoramento em tempo real desde o planejamento a execução no chão de fábrica.	Gerenciamento dinâmico do processo, ajuste rápido do plano de produção à demanda, produtividade aumentada e incremento do nível de qualidade.
Estudo de Caso	Shao <i>et al.</i> (2015)	Detecção de imagem de defeitos do tecido em tempo real e compartilhado com a área de planejamento da produção.	Melhoria no processo de fabricação pela convergência de dados entre a área de fabricação e a área de planejamento.
Estudo de Caso	Saggiomo <i>et al.</i> (2016)	Implantação de um SCFP em uma tecelagem em que um algoritmo auto otimiza os parâmetros de ajustes essenciais no processo de tecer.	Configuração de forma autônoma dos parâmetros de regulagem reduzindo em 75% o tempo gasto na rotina de parametrização dos teares.
Estudo de Caso	Yin <i>et al.</i> (2017)	Utilização de Blockchain para aumento de segurança na comunicação entre máquinas em uma fiação.	Preservar dados coletados do processo evitando a perda de informações por substituição de dispositivos ou ações ilegais.
Estudo de Caso	Cloppenborg <i>et al.</i> (2017)	Monitoramento de parâmetros de regulagem de uma máquina de tecido não tecido e a inspeção visual autônoma da qualidade do material.	Otimização da produção de tecido não tecido e manutenção do equipamento, além de facilitar a operação e treinamentos pelos operadores
Estudo de Caso	Ha <i>et al.</i> (2018)	Implantação de SCF numa confecção para digitalização das informações com uso de leitor de códigos de barras.	Disponibilização das informações detalhadas aos operadores da fábrica e auxiliar o acompanhamento do processo pela gerência.
Pesquisa	Imran <i>et al.</i> (2018)	Uma pesquisa em 224 empresas têxteis do Paquistão na aplicação de SCF e a interoperabilidade de fábricas inteligentes.	Aumentar a produção de bens e serviços e auxiliar gerentes a melhorar as estratégias e o desempenho das indústrias têxteis.
Estudo de Caso	Wang <i>et al.</i> (2018)	Utilização de SEM em nuvem e rastreamento em tempo real através do uso de IDRF numa terceirização de confecção.	Ajuste do plano de produção, monitoramento das máquinas, do transporte entre fábricas, inspeção da qualidade e rastreamento em tempo real.
Pesquisa	Chen (2019)	Uma pesquisa em 4 empresas na utilização de ecossistemas de IoT e SCF na Cadeia de Valos Global em PMEs.	Identificou que a Indústria 4.0 podem aproximar as PMEs dos clientes, aumenta a eficiência da produção e aumenta a criação de valor da cadeia produtiva.
Estudo de Caso	Ha <i>et al.</i> (2019)	Implantação de etiquetas IDRF conectadas ao SEM para atualização dos estoques em tempo real em uma confecção.	Melhor controle dos estoques de rolos de tecido reduzindo a perda na otimização do corte do tecido, além de registrar a eficiência.
Estudo de Caso	Manglani <i>et al.</i> (2019)	Monitoramento de qualidade de forma remota em filatório de anéis.	Redução de inatividade, redução de perdas e aumento de eficiência produtiva.

Fonte: O autor (2022)

Quadro 2 – Resumo dos artigos da revisão de literatura – Parte 2

Tipo	Autor	Foco	Resultados
Pesquisa	Ślusarczyk <i>et al.</i> (2019)	Identificar os resultados trazidos pela Indústria 4.0 por meio da implantação de SCFP nas indústrias têxteis da Malásia.	Efeito positivo e significativo sobre a produção e serviços mais eficaz trazendo a redução de custos.
Estudo de Caso	Farooq <i>et al.</i> (2020)	Monitoramento de pontos críticos em máquinas de fiação para identificação de falhas.	Diagnóstico preditivo para melhorar a tomada de decisão evitando a interrupção do processo
Estudo de Caso	Ku <i>et al.</i> (2020)	Integração dos CLPs das máquinas de tingimento com o SEM para melhoria na tomada de decisão.	Eliminar acúmulo de informações e melhorar o sequenciamento e a programação dos pedidos de produção nas máquinas.
Estudo de Caso	Park <i>et al.</i> (2020)	Otimização do processo de tingimento utilizando o histórico de parâmetros de configuração.	Redução do consumo de energia elétrica em consequência do uso de regulagens empíricas do processo.
Estudo de Caso	Yin <i>et al.</i> (2020)	Aplicação de um SCFP em uma fiação que utiliza um algoritmo para monitorar parâmetros de processo.	Diminuição do tempo de latência, aumento de eficiência de produção, suporte ao gerenciamento de recursos e suporte a manutenção preditiva.
Estudo de Caso	Jung <i>et al.</i> (2021)	Identificação de defeito no processo das máquinas de costura numa confecção.	Identificar as falhas de costura e evitar que as mesmas prossigam adiante no fluxo de produção.

Fonte: O autor (2022)

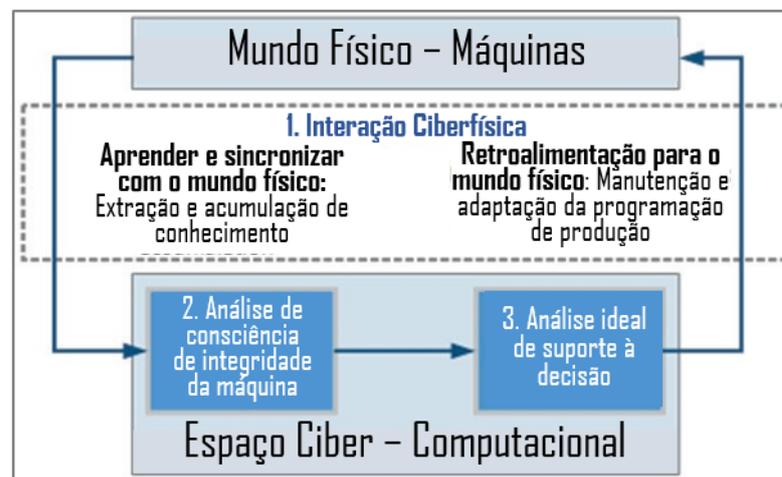
## 2.7 DESAFIOS E OPORTUNIDADES NA IMPLANTAÇÃO DO SCF

Atualmente, os operadores controlam as máquinas, os gerentes projetam cronogramas logísticos e as máquinas estão realizando apenas as tarefas atribuídas. As máquinas atuais só podem seguir passivamente os comandos dos operadores e reagir, mesmo quando a tarefa atribuída não é a ideal para sua condição atual. Entretanto, um sistema de máquina mais inteligente, com advento da computação em nuvem e uma estrutura de Sistemas Ciber-Físicos, a indústria por meio do sistema de informações autoconsciente, é capaz de sugerir ativamente arranjos de tarefas e ajustar os parâmetros operacionais para maximizar a produtividade e a qualidade do produto, e evita ativamente possíveis problemas de desempenho da produção (LEE *et al.*, 2014). A Figura 31 mostra a estrutura se sistemas autoconscientes.

A integração de tecnologias de design e análise como Desenho Assistido por Computador com Sistemas de Execução de Manufatura (SEM) / Sistema Avançado de Programação (SAP) e Sistema Integrado de Gestão Empresarial (SIGE) tem papel chave na Indústria 4.0. Essa integração perfeita pode ser possível usando a nuvem e serviços da *web*, bem como computação descentralizada por meios como, um

dispositivo móvel Android e um aplicativo que o acompanha, pode permitir a criação de um Gêmeo Digital com informações sobre a saída do processo, produtividade do operador e outras informações. Essa integração permite fornecer informações com mais detalhes e em tempo real, tornando a rastreabilidade dos dados mais confiáveis e informações com mais rapidez, dispensando a necessidade dos espaços de organização de ordens de produção arquivados e com custos reduzidos associados aos papéis utilizados, sendo considerada uma ferramenta de mudança a nível organizacional (SOUZA *et al.*, 2021), (CORONADO *et al.*, 2018), (HA *et al.*, 2018), (IMRAN *et al.*, 2018), (SHEN *et al.*, 2016), (KU *et al.*, 2020).

Figura 31 - Estrutura do Sistema Ciberfísico para máquinas autoconscientes



Fonte: Adaptado de Lee *et al.*, (2014)

A aplicação de um sistema autoconsciente, além do aumento de produtividade da produção, melhora o desempenho do PCP resultando em aumento da flexibilidade, redução de custos, redução do tempo de entrega e redução de estoque. Conseqüentemente, melhora o retorno sobre os ativos operacionais, giro de estoque, margem bruta e desempenho de fluxo de caixa. O sistema fornece informações essenciais sobre as atividades de produção na empresa e na cadeia de suprimentos por meio de comunicações bidirecionais (UGARTE *et al.*, 2009), (BUENO *et al.*, 2020).

Portanto, os resultados demonstram que uma melhor implementação de tecnologias de fábrica inteligente levará a uma maior produção e serviços. Além disso, uma empresa têxtil não pode se beneficiar da Indústria 4.0 a menos que implemente a tecnologia de forma eficaz, assim a mineração e análise dados do mundo físico e virtual por meio de SCF, monitora de forma inteligente as ações das entidades no

mundo físico e executa ações para mudar seu comportamento para fazer com que os processos funcionem de forma mais eficiente (ŚLUSARCZYK *et al.*, 2019), (YIN *et al.*, 2017).

Embora um sistema inteligente, autoconsciente e interoperável da indústria 4.0 traz grandes benefícios, o maior desafio técnico que os fabricantes de máquinas e fábricas têxteis enfrentam diz respeito à execução da manufatura devido à complexa natureza do sistema de produção, as incertezas ambientais, a variedade de tipos de equipamentos, processos, sistemas de fabricação existentes e problemas de desempenho. Além disso, e a heterogeneidade dos protocolos e produtos de comunicação dificulta a integração entre sistemas e processos (UGARTE *et al.*, 2009), (MANGLANI *et al.*, 2019).

Os estudos de casos identificaram que nas organizações têxteis, existem vários softwares, bancos de dados individuais, planilhas e documentos em papel. Não há sistemas para trocar dados de forma eficiente e a qualidade dos dados é considerada de baixa prioridade, além de que as indústrias de vestuário são consideradas indústrias de “baixa tecnologia”. A necessidade de digitalização tem sido o principal fator de mudança em toda a cadeia de valor, entretanto, muitas não estão preparadas para isso, especialmente entre as pequenas e médias empresas (HA, 2019), (CHEN, 2019), (ŚLUSARCZYK *et al.*, 2019).

As dificuldades para a evolução rumo a indústria 4.0 são muitas, a exemplo em que, os termos como Indústria 4.0, Sistemas Ciber-Físicos ou fábrica inteligente ainda não são suficientemente conhecidos. Além disso, há falta generalizada de sensores sem fio e a variedade de máquinas utilizadas na fabricação à medida que o processo avança desde os fardos de fibra até os tecidos, dificultam a interconexão ao longo da cadeia produtiva (CLOPPENBURG *et al.*, 2017), (JUNG *et al.*, 2021), (MANGLANI *et al.*, 2019).

Outro desafio para a implantação dessas tecnologias é atender as necessidades das pequenas e médias empresas (PMEs) que representam a maior partes das empresas do segmento têxtil. A flexibilidade, custo, eficiência, qualidade e vantagem competitiva são considerados os principais benefícios para a indústria 4.0. Entretanto, o desejo de implementar tecnologias da Indústria 4.0 enfrentam algumas restrições, tais como: i) limitação de recursos financeiros; ii) limitação de recursos de conhecimento; iii) limitação de recursos tecnologia; iv) fatores externos, como tamanho da empresa, fatores sociais, fatores culturais etc.; v) utilidade percebida de

uma tecnologia; vi) facilidade de uso percebida de uma tecnologia; vii) intenção ou atitude em relação ao uso de uma tecnologia; viii) insegurança dos executivos quanto o armazenamento de informações em nuvem ou proprietário dos dados (MASOOD; SONNTAG, 2020).

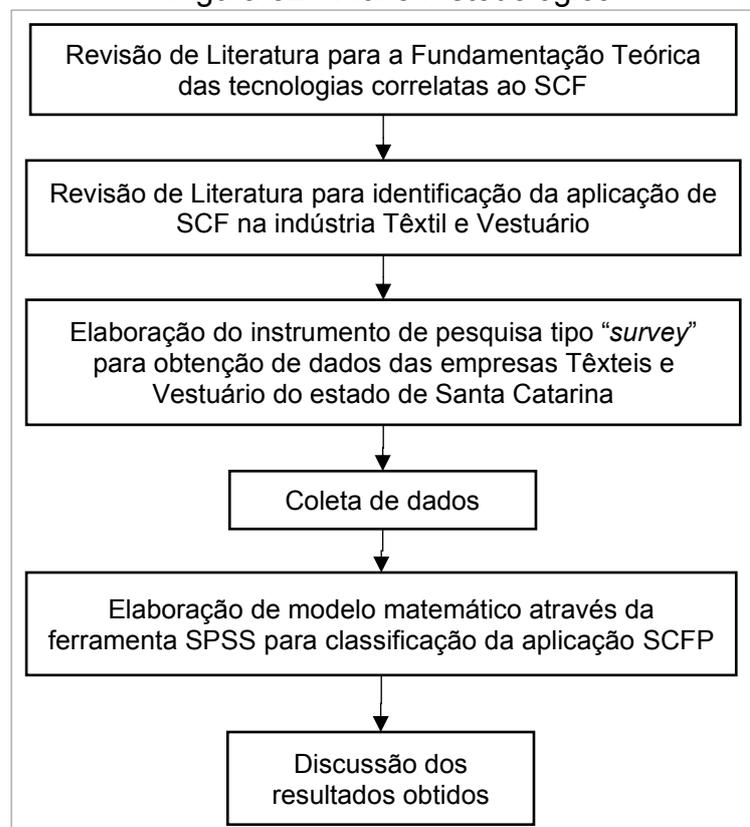
Embora, algumas evidências mostram como a digitalização ainda está em um estágio preliminar na indústria têxtil, nos últimos anos as empresas de manufatura no processo de produção começaram a evoluir para o uso do sistema SEM em nuvem com características de manufatura em nuvem. Com dados integrados, a programação da operação, baseada nas informações do pedido atual da máquina, maximiza a utilização do parque fabril por meio da melhor programação da produção, com regras de distribuição evitando tempo de *setup* adicional e otimização no sequenciamento de ordens de produção (ŚLUSARCZYK *et al.*, 2019), (WANG *et al.*, 2018), (HA *et al.*, 2018).

De acordo com os estudos de casos apresentados, é possível identificar casos em que os dados coletados estão sendo processados de forma a gerar informações úteis para análise, já em outros casos em que se pode identificar a conexão entre informações para melhoria da tomada de decisão. Também constata-se que o SCF está presente em todos os segmentos da cadeia produtiva e observa-se que os estudos de casos apresentados estão dentro dos níveis III e IV de maturidade de aplicação de SCF conforme modelo proposto (KIM, 2017).

### 3 METODOLOGIA

A metodologia científica pode ser conceituada como um conjunto de parâmetros mediante os quais toda pesquisa científica é viabilizada de forma organizada e criteriosa, permitindo assim encontrar soluções para os problemas levantados, no caso, a aplicação de Sistemas Ciber-Físicos de Produção (SCFP) na indústria Têxtil e Vestuário da indústria 4.0 (MORAES; FONSECA, 2017). A sequência das etapas metodológicas usadas neste trabalho pode ser vista na figura 32.

Figura 32 - Fluxo metodológico



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

#### 3.1 REVISÃO DA LITERATURA

Para fundamentar este trabalho, no que diz respeito à revisão de literatura, esta etapa teve como ponto de partida o acesso a documentos eletrônicos e publicações presentes em repositórios virtuais. Esta revisão foi composta por duas etapas, sendo que uma foi a busca de tecnologias correlatas aos Sistemas Ciber-Físicos de Produção como temas de Tecnologias da Informação e Comunicação,

Sistemas Ciber-Físicos, IoT, *Big Data*, Indústria 4.0, Sistema Avançado De Programação (SAP), Sistemas de Execução de Manufatura (SEM) e Sistema Integrado de Gestão Empresarial (*SIGE*). A outra etapa consistiu em identificar a aplicação de Sistemas Ciber-Físicos aplicados a Indústria Têxtil e do Vestuário. Isto implicou na definição de critérios de inclusão e exclusão para as obras que fizeram parte desta etapa de revisão de literatura, ou seja, obras em português ou língua estrangeira que estiveram disponíveis na íntegra na forma de livros, artigos, dissertações e teses (SANTOS, 2007).

O diagnóstico da aplicação de Sistemas Ciber-Físicos de Produção na indústria Têxtil e Vestuário foi embasado na revisão de literatura e com base nessa pesquisa bibliográfica qualitativa e de finalidade exploratória, foi elaborado uma pesquisa “*survey*” que foi direcionada a indústria Têxtil e Vestuário com a finalidade de identificar o nível de utilização das tecnologias e filosofias de trabalho pertinentes à Indústria 4.0, bem como o nível de relevância destas tecnologias em sua cultura organizacional, desafios observados e como estas tecnologias contribuíram para a gestão de processos e a produtividade.

Em tudo o que diz respeito a esta etapa de revisão de literatura, defendeu-se a necessidade da aplicação do método dedutivo cartesiano, que tem como característica quatro etapas distintas, na forma de apresentação de evidências, elaboração de análises, sínteses e posterior enumeração de resultados. Além de partir de afirmações gerais como o conceito de Tecnologias da Informação e Comunicação, antes de se chegar a afirmações mais específicas, como os desafios e oportunidades em matéria da aplicação desses Sistemas Ciber-Físicos da Indústria 4.0 (MORAES; FONSECA, 2017).

Em relação à pesquisa da aplicação de Sistemas Ciber-Físicos de Produção na indústria Têxtil e Vestuário, recorreu-se a motores de busca e repositórios virtuais no portal da CAPES, à exemplo da SCOPUS, *Science Direct* e *Web of Science*, para a seleção das obras que fizeram parte da revisão de literatura. O desenvolvimento de um projeto de pesquisa com base na metodologia descritivo-analítico-reflexiva necessita a definição da *string* de busca padrão. Embora a Indústria 4.0 seja um tema recente, tecnologias como Sistemas de Execução de Manufatura (SEM) e Sistema Ciber-Físico (SCF) são sistemas mais antigos, sendo assim, requereu-se a utilização de referências de publicação desde a década de 90 (MARCOLINO; MIZUKAMI, 2008), (MOHER, 2009), (UGARTE *et al.*, 2009).

Este projeto de pesquisa requereu a utilização de diferentes *strings* para temáticas distintas que formaram a busca da aplicação do SCF, as palavras chave escolhidas e os autores em que foram fundamentadas podem ser vistas no Quadro 3.

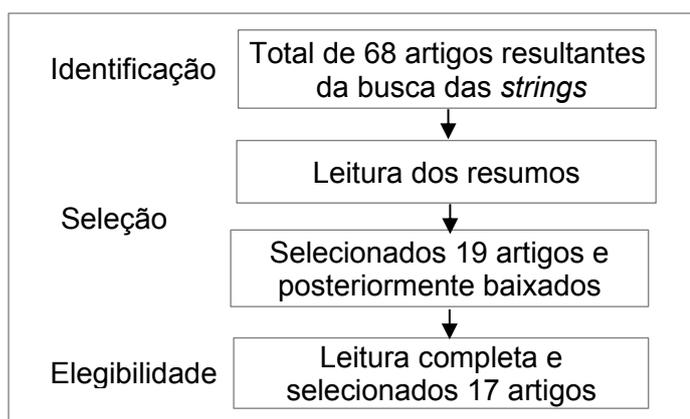
Quadro 3 – *Strings* de busca com base nas palavras chaves

Base de Dados	<i>Strings</i>	Autores
SCOPUS	<i>“cyber physical system” OR “cyber-physical system” OR “cyber-physical-system” OR “cyber-physical production system” OR “cyber-physical manufacturing systems” OR “manufacturing execution system” AND “textile” OR “cloth” OR “apparel” OR “yarn” OR “clothing” OR “clothes” OR “outfit” OR “Garment*” AND NOT “ECG” AND NOT “vehicle”</i>	(KIM, 2017) (JEON <i>et al.</i> , 2017) (SADIKU <i>et al.</i> , 2017) (LU, 2017) (BUENO <i>et al.</i> , 2020) (EINSIEDLER, 2013) (BEYERS <i>et al.</i> , 2020)
SCIENCE DIRECT	<i>(“cyber-physical-system” OR “cyber-physical production system” OR “manufacturing execution system”) AND (“textile industry” OR “cloth” OR “yarn”) AND NOT (“ECG” OR “vehicle”)</i>	(JIA <i>et al.</i> , 2020) (PIONTEK <i>et al.</i> , 2018)
WEB OF SCIENCE	<i>(TS=(cyber physical system) OR TS=(cyber-physical production system) OR TS=(cyber-physical manufacturing systems) OR TS=(manufacturing execution system))AND (TS=(textile) OR TS=(cloth) OR TS=(yarn)) NOT (TS=(ECG) NOT TS=(vehicle))</i>	(HUANG <i>et al.</i> , 2019) (WANG <i>et al.</i> , 2020)

Fonte: O autor (2022)

Foram encontrados nas bases *Web of Science* (WoS), *Science Direct* e *Scopus* um total de 68 artigos pertinentes. Após os artigos encontrados foi realizada a leitura do resumo para identificar se os artigos abordavam as aplicações de SCF em alguma etapa do processo de fabricação Têxtil ou Vestuário. Dos artigos que abordavam o assunto, foram baixados 19 e posteriormente realizada a leitura completa identificando o conteúdo pertinente ao uso da pesquisa, tais como: setores que foram aplicados os SCF; o tipo de aplicação do SCF utilizada, dificuldades ou benefícios trazidos com a implantação dos mesmos. Destes, apenas 17 traziam as informações que contribuíam para o objetivo deste trabalho. A Figura 33 mostra a fluxo de artigos utilizados, sendo que 1 artigo estava em chinês e o restante em inglês.

Figura 33 – Artigos encontrados



Fonte: O autor (2022)

A relação dos artigos utilizados e o respectivo segmento da indústria Têxtil ou Vestuário relacionado pode ser visto no Quadro 04.

Quadro 4 – Dados dos artigos da revisão literatura

<b>Autor</b>	<b>Título</b>	<b>Segmento</b>
(Hua <i>et al.</i> , 2008)	<i>Study and Design Real-time Manufacturing Execution System Based On RFID</i>	Fiação
(Shao <i>et al.</i> , 2015)	<i>Design of textile manufacturing execution system based on Big Data</i>	Tecelagem
(Saggiomo <i>et al.</i> , 2016)	<i>Weaving machine as cyber-physical production system</i>	Tecelagem
(Yin <i>et al.</i> , 2017)	<i>M2M Security Technology of CPS Based on Blockchains</i>	Fiação
(Cloppenburg <i>et al.</i> , 2017)	<i>Industry 4.0 How will the nonwoven production of tomorrow look like?</i>	Não tecido
(Ha <i>et al.</i> , 2018)	<i>How Industry 4.0 concepts are applied in the Portuguese clothing industry: some evidences.</i>	Confecção
(Imran <i>et al.</i> , 2018)	<i>Influence of Industry 4.0 on the production and service sectors in Pakistan: Evidence from textile and logistics industries</i>	Não definido
(Wang <i>et al.</i> , 2018)	<i>RFID Based Manufacturing Process of Cloud MES</i>	Confecção
(Chen, 2019)	<i>Value Creation by SMEs Participating in Global Value Chains under Industry 4.0 Trend: Case Study of Textile Industry in Taiwan</i>	Não definido
(Ha <i>et al.</i> , 2019)	<i>Digitization and Industry 4.0 in the Portuguese T&amp;C sector</i>	Confecção
(Manglani <i>et al.</i> , 2019)	<i>Application of the Internet of Things in the textile industry</i>	Fiação
(Ślusarczyk <i>et al.</i> , 2019)	<i>Fourth industrial revolution- A way forward to attain better performance in the textile industry</i>	Não definido
(Farooq <i>et al.</i> , 2020)	<i>Data-Driven Predictive Maintenance Approach for Spinning Cyber-Physical Production System</i>	Fiação
(Ku <i>et al.</i> , 2020)	<i>Digital transformation to empower smart production for Industry 3.5 and an empirical study for textile dyeing</i>	Tingimento
(Park <i>et al.</i> , 2020)	<i>Cyber Physical Energy System for Saving Energy of the Dyeing Process with Industrial Internet of Things and Manufacturing Big Data</i>	Tingimento
(Yin <i>et al.</i> , 2020)	<i>Real-time task processing for spinning cyber-physical production systems based on edge computing</i>	Fiação
(Jung <i>et al.</i> , 2021)	<i>Appropriate Smart Factory for SMEs: Concept, Application and Perspective</i>	Confecção

Fonte: O autor (2022)

Para este fim, compreendeu-se a necessidade de se desenvolver essa pesquisa qualitativa, posteriormente apoiada por pesquisa quantitativa, o que é discutido a seguir.

### 3.2 INSTRUMENTO DE PESQUISA POR QUESTIONÁRIO (*SURVEY*)

O *survey* é caracterizado pela pesquisa qualitativa como a busca por um aprofundamento da compreensão por parte do pesquisador acerca de um grupo social, organização ou fato, dentre outras perspectivas (GOLDENBERG, 1997).

Esta investigação científica teve a finalidade exploratória para compreender relações de causa e efeito entre variáveis e deste modo, oferecer ao pesquisador maior familiaridade com a temática da aplicação de Sistemas Ciber-Físicos de Produção no setor da indústria Têxtil e Vestuário da Indústria 4.0. Neste sentido, a investigação permitiu evidenciar o problema ou então abrir caminho para o investigador tenha uma suposição ou hipótese sobre o efeito causado pela variação, caso contrário, ele não estaria explorando essas hipóteses (GIL, 2010), (CAUCHICK *et al.*, 2019).

As pesquisas exploratórias partem do levantamento bibliográfico de dados presentes em literatura específica, ou então a partir de entrevistas com pessoas que tenham tido algum tipo de experiência prática com o problema pesquisado. No caso, este projeto foi apoiado em um questionário aplicado com a participação de indústrias do ramo Têxtil e Vestuário (GIL, 2010).

Uma pesquisa do tipo *survey* de cunho exploratório e descritivo, tem como objetivo avaliar uma amostra populacional com o auxílio de questionário voltado para a coleta de dados de forma individual. Deste modo, foi possível compreender o cenário atual das indústrias do ramo Têxtil e Vestuário que buscam se adequar a realidade da Indústria 4.0 a partir da introdução de Sistemas Ciber-Físicos (FORZA, 2002).

A amostra desta pesquisa tipo *survey* não é probabilística, portanto, a escolha dos elementos da amostra não foi aleatória, mas direcionada. Neste caso, para gestores de indústrias Têxteis e Vestuário que trabalham no planejamento ou gestão da manufatura em suas fábricas. Este tipo de amostra é visto como o mais adequado quando os pesquisadores não pretendem generalizar os resultados para uma população (como ocorre em pesquisas eleitorais), pois a proposta diz respeito a um

fenômeno bem específico e restrito a uma parcela específica da população (LEVIN, 1987), (MARCONI; LAKATOS, 2012), (MATTAR, 2000).

Foi definido que a coleta de dados se estruturaria na forma de um questionário que pôde ser preenchido de forma remota pelos responsáveis pela gestão ou planejamento da manufatura, buscando identificar a aplicação de SCF na indústria têxtil e vestuário onde este profissional atua, e quais setores estão mais adiantados neste processo de adaptação a este conceito do SCF.

Foi proposto que o questionário seja formulado a partir de questões que fazem parte da realidade destas indústrias Têxteis e Vestuário e ao término do processo, as respostas foram tabuladas com o auxílio de planilha eletrônica e tratamentos estatísticos através de gráficos e posteriormente analisados.

Dos resultados obtidos do *survey*, esperou-se identificar Sistemas Ciber-Físicos de Produção implantados e consolidados para evidenciar quais os setores mais avançados na utilização de SCF e quais os benefícios de sua utilização ou dificuldade de implementação que foram apresentados de forma gráfica na discussão dos resultados. Os dados do *survey* também foram utilizados para a geração de um modelo de classificação de implantação do SCFP.

Esta pesquisa *survey* buscou dados nos quesitos quanto a conhecimentos relacionados com o SCF, a digitalização dos processos, adoção de sistemas voltados para Tecnologias da Informação e Comunicação, identificou o nível de utilização, a relevância e os benefícios alcançados por meio das tecnologias e filosofias de trabalho pertinentes à Indústria 4.0. Esta modalidade de pesquisa teve como finalidade descrever a natureza das condições existentes, identificar padrões por meio dos quais estas condições possam ser comparadas, ou então ainda determinar as relações existentes entre fenômenos distintos (COHEN *et al.*, 2000).

Deste modo, o questionário é um instrumento que teve como qualidade permitir que um número elevado de pessoas participassem simultaneamente da dinâmica proposta pela pesquisa, e também teve como característica a uniformização das questões, o que contribuiu para o trabalho de compilação e comparação das respostas, que foram devidamente complementadas pela produção de gráficos e análises (LAVILLE; DIONNE, 1999).

O público alvo da pesquisa foram os gestores que atuam na indústria Têxtil e Vestuário que tenham alguma experiência ou vivência em relação a Programação e Controle da Produção, com a finalidade identificar o nível de relevância destas

tecnologias em sua cultura organizacional, desafios observados e se estas tecnologias contribuíram para a gestão de processos e a produtividade destas indústrias Têxteis e Vestuário.

A população selecionada para a pesquisa são indústrias Têxteis e de Vestuário de grande e médio porte, tendo em vista a quantidade de recursos necessários para a implantação de SCF e que geralmente não são o foco de empresas micro e pequeno porte. O critério de escolha do estado de Santa Catarina foi o mesmo estado em qual se encontra a UFSC e a relação das empresas foi baseada numa consulta ao FIESC de 2022 em que a quantidade de empresas selecionadas pode ser visualizada no Quadro 5.

Para a coleta da pesquisa “*survey*” foi configurado um formulário com o auxílio da plataforma Google Formulários a ser preenchido a partir de um *link* enviado aos profissionais do público alvo, por e-mail ou WhatsApp.

Quadro 5 – População de empresas

REGIÃO	GRANDE	MÉDIO	TOTAL
Grande Florianópolis	2	0	2
Norte Catarinense	34	3	37
Oeste Catarinense	3	0	3
Sul	8	0	8
Vale Do Itajaí	7	60	67
<b>TOTAL</b>	<b>54</b>	<b>63</b>	<b>117</b>

Fonte: FIESC (2022)

Para obtenção do contato dos respondentes foi entrado em contato com as empresas no início de setembro por telefone e levou duas semanas para contactar todas as empresas. Após o envio de link de acesso ao formulário, foi aguardado duas semanas e então entrou-se em contato com os não respondentes, aguardado mais uma semana e por fim uma terceira tentativa uma semana depois pra obter o maior número de respostas possíveis. A finalização do recebimento das respostas foi na metade de outubro para atender o cronograma deste trabalho, conseguiu-se um total de 61 respondentes e as empresas que não responderam não justificaram a negativa. A Figura 34 mostra a taxa de retorno dos respondentes.

Figura 34 – Quantidades de respostas

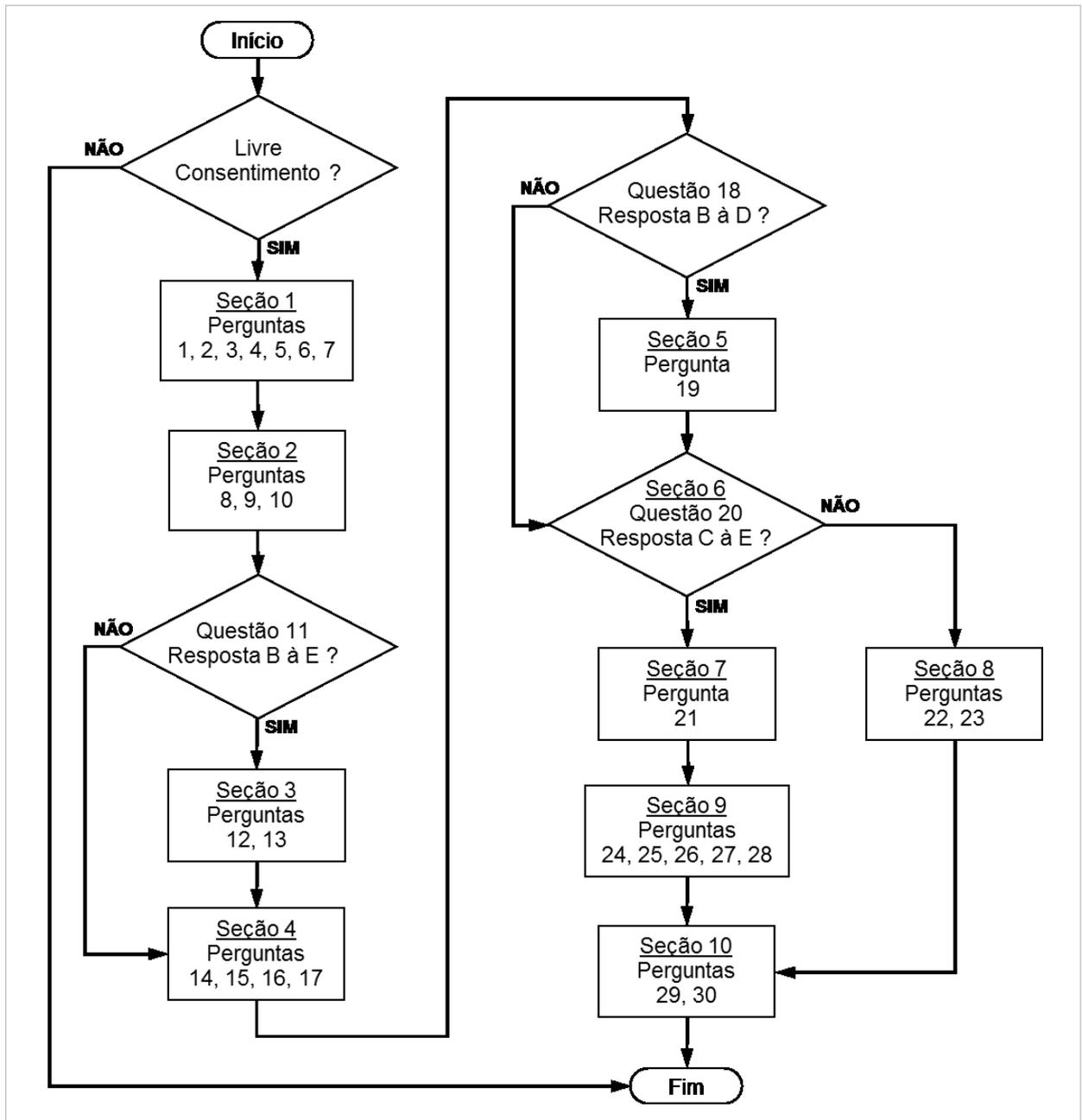


Fonte: O Autor (2022)

O formulário foi composto de 30 questões de cincho fechado com a opção de preenchimento em caso da opção ser “outro”, posteriormente dividiu-se em 10 seções que são liberadas para serem preenchidas de acordo com as respostas do bloco anterior, de modo a não haver questões que não se aplicam à situação em questão da empresa.

As perguntas foram desenvolvidas não com base nas tecnologias empregadas, pois esse caráter técnico nem sempre os respondentes possuem os conhecimentos para a possível identificação. As perguntas foram desenvolvidas com base no fluxo de informações, e assim, identificar quais TICs a empresa utiliza no momento, pois não basta possuir a tecnologia, mas sim utilizá-la de forma adequada. O roteiro das questões pode ser visto na Figura 35 e é melhor explicado no constructo no Quadro 6 e 7.

Figura 35 – Roteiro do questionário



Fonte: O autor (2022)

O Quadro 6 e 7 apresentam o “constructo” do instrumento de pesquisa para atender o objetivo específico proposto.

Quadro 6 – Constructo - Parte 1

Questões do instrumento de pesquisa	Referência	Objetivos Específicos	
Seção 1	A questão 1 a 7 são para identificação da empresa respondente.		
Seção 2	Questão 8 - Quais setores ligados a indústria têxtil a empresa possui internamente?	c) Mostrar os segmentos dentro das indústrias do segmento Têxtil e Vestuário com maior implementação de Sistemas Ciber-Físicos e suas respectivas dificuldades de implantação nas Indústrias Têxtil e Vestuário em Santa Catarina	
	Questão 9 - Qual setores ligados a indústria têxtil a empresa terceiriza dentro do seu fluxo de processo?		
	(ABIT, 2020), (TEXTILIA, 2022)		
	Questão 10 - A empresa utiliza o SIGE para planejar a disponibilidade de matéria prima e estoques intermediários ou o planejamento de capacidade fabril?		
Seção 3	Questão 11 - As emissões de Ordens de Produção para a "fábrica" são feitas da qual forma?	(BUENO <i>et al.</i> , 2020), (HA; <i>et al.</i> , 2018)	
	Questão 12 - As Ordens de Produção após finalizadas, são utilizadas para?		
Seção 4	Questão 13 - A empresa utiliza para fazer a Programação da Produção o seguinte sistema:	(JEON <i>et al.</i> , 2017) (HVOLBY; STEGER-JENSEN, 2010) (WANG <i>et al.</i> , 2021)	
	Questão 14 - A forma de programação da Produção na "fábrica" é da seguinte forma:	(BUENO <i>et al.</i> , 2020)	
Seção 5	Questão 15 - Qual seu nível de conhecimento sobre a Indústria 4.0 ou "Fábricas Inteligentes"?	b) Avaliar o nível de implementação de Sistemas Ciber-Físicos de Produção nas Indústrias Têxtil e Vestuário em Santa Catarina;	
	Questão 16 - O termo Sistema Ciber Físicos - SCF é conhecido?		(KAGERMANN; <i>et al.</i> , 2013)
	Questão 17 - O termo Sistemas de Execução de Manufatura - SEM é conhecido?		(KIM, 2017)
	Questão 18 - O termo Identificar por Rádio Frequência - IDRF é conhecido?		(MANTRAVADI; MØLLER, 2019) (UGARTE <i>et al.</i> , 2009)
Seção 6	Questão 19 - A empresa possui algum sistema de rastreo de lotes de produção por IDRF - Identificar por Rádio Frequência?	(WANG <i>et al.</i> , 2018) (HA <i>et al.</i> , 2019)	
Seção 7	Questão 20 - A empresa tem algum sistema em que é feito o monitoramento do processo de fabricação em tempo real?	(WITSCH; VOGEL-HEUSER, 2012)	
Seção 8	Questão 21 - Liste quais os setores em que o sistema de monitoramento <i>on line</i> foi implantado:	c) Mostrar os segmentos dentro das indústrias do segmento Têxtil e Vestuário com maior implementação de Sistemas Ciber-Físicos e suas respectivas dificuldades de implantação nas Indústrias Têxtil e Vestuário em Santa Catarina	
Seção 9	Questão 22 - Se a empresa NÃO possui nenhum sistema de monitoramento em tempo real, a empresa tem pretensão de investir?		(ŚLUSARCZYK <i>et al.</i> , 2019)
	Questão 23 - Se a empresa atualmente NÃO possui nenhum sistema de monitoramento em tempo real, os principais motivos são:		(CLOPPENBURG <i>et al.</i> , 2017) (JUNG <i>et al.</i> , 2021) (MANGLANI <i>et al.</i> , 2019)

Fonte: O autor (2022)

Quadro 7 – Constructo – Parte 2

Metodologia Utilizada		Referência	Objetivos Específicos
Seção 9	Questão 24 - Se a empresa possui algum sistema de monitoramento do processo de fabricação em tempo real, o sistema tem as seguintes características?	(JEON <i>et al.</i> , 2017)  (UGARTE <i>et al.</i> , 2009)	b) Avaliar o nível de implementação de Sistemas Ciber-Físicos de Produção nas Indústrias Têxtil e Vestuário em Santa Catarina;
	Questão 25 - Se a empresa possui algum sistema de monitoramento do processo de fabricação em tempo real, sua função é?		
	Questão 26 - Se a empresa possui algum sistema de monitoramento do processo de fabricação em tempo real, as maiores vantagens trazidas pelo sistema são:		e) Mostrar os segmentos dentro das indústrias do segmento Têxtil e Vestuário com maior implementação de Sistemas Ciber-Físicos e suas respectivas dificuldades de implantação nas Indústrias Têxtil e Vestuário em Santa Catarina;
	Questão 27 - Se a empresa possui algum sistema de monitoramento do processo de fabricação em tempo real, as maiores dificuldades para a implantação do sistema são:		
	Questão 28 - Se a empresa possui algum sistema de monitoramento do processo de fabricação em tempo real, ela pode ser usada como empresa um estudo de caso para promover a implantação de sistemas de monitoramento em tempo real?		b) Avaliar o nível de implementação de Sistemas Ciber-Físicos de Produção nas Indústrias Têxtil e Vestuário em Santa Catarina;
Seção 10	Questão 29 - Na sua opinião, a “Indústria 4.0” ou “Fabricas Inteligentes” voltadas para a Indústria Têxtil pode ser considerado como?	(IMRAN <i>et al.</i> , 2018)  (CHEN, 2019)	b) Avaliar o nível de implementação de Sistemas Ciber-Físicos de Produção nas Indústrias Têxtil e Vestuário em Santa Catarina;
	Questão 30 - Você já havia respondido alguma pesquisa sobre a indústria 4.0 ou “fabrica inteligente” anteriormente?		

Fonte: O autor (2022)

O formulário depois de elaborado, foi previamente validado em duas empresas e posteriormente ajustadas antes de serem encaminhadas ao público alvo.

A proposta do questionário, que foi o instrumento de pesquisa, para a avaliação do nível de implantação de Sistemas Ciber-Físicos nas indústrias Têxteis e Vestuário do estado de Santa Catarina está apresentado no Apêndice A.

### 3.3 REGRESSÃO LOGÍSTICA

Como referido na revisão de literatura, o SCF é um elemento base da indústria 4.0 e por isso a necessidade de diagnosticar se a empresa está se adaptando a

implantação da indústria 4.0. De acordo com o questionário “*survey*” as respostas foram de cunho qualitativo e neste sentido, desejou-se classificar em dois tipos de objetos que se enquadraram na classe de métodos estatísticos multivariados de dependência, pois uma variável dependente categórica se relaciona com um conjunto de variáveis independentes. O contexto no qual o conjunto de variáveis independentes apresenta um comportamento probabilístico de normalidade multivariada, a análise discriminante é adequada, pois minimiza os erros de classificação (MINUSSI *et al.*, 2002).

Neste caso, a variável dependente é qualitativa e é expressa por duas ou mais categorias, ou seja, admite dois ou mais valores. Uma boa aproximação foi obtida pela regressão logística que permitiu o uso de um modelo de regressão para se calcular ou prever a probabilidade de um evento específico. Neste contexto, a variável resposta possui apenas duas categorias, ou seja, natureza binária ou dicotômica, e há apenas uma variável dependente envolvida. A utilização do modelo logístico na análise de variáveis-resposta dicotômicas tem duas vantagens: i) de um ponto de vista matemático, é extremamente flexível e fácil de ser utilizado; ii) permite uma interpretação de resultados bastante rica e direta (BITTENCOURT, 2003), (FIGUEIRA, 2006).

Em praticamente todas as áreas do conhecimento, o modelo logístico tem se revelado muito eficaz na solução de problemas que envolvem a escolha de uma entre duas alternativas ou a estimação de probabilidades. A popularidade que essa técnica vem alcançando em todo o mundo é atribuída, em parte, à semelhança que ela conserva em relação a algumas características da Regressão Linear e principalmente ao fato de permitir que se contornem certas restrições encontradas em outros modelos, tais como homogeneidade de variância e normalidade na distribuição de erros (CORRAR *et al.*, 2007).

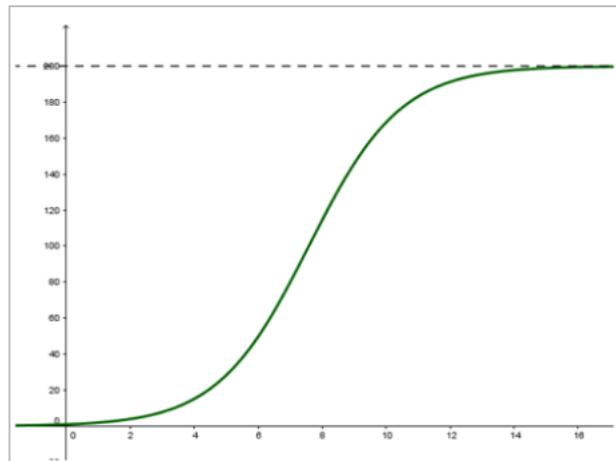
Na regressão logística binária, a probabilidade de ocorrência de um evento pode ser estimada diretamente. Nesta situação a máxima verossimilhança é utilizada para a determinação de sua equação típica. Esta função divide o plano cartesiano em dois semi-planos, pois um dá atenção ao grupo em que  $X < 0$  e para grupo complementar  $X > 0$ . Quando a variável dependente  $Y$  assume somente dois estados possíveis (1 ou 0) e apresentar um conjunto de  $p$  variáveis independentes  $X_1, X_2, \dots, X_p$ , o modelo de regressão logística pode ser formulado conforme a equação 1 e 2:

$$P(Y = 1) = \frac{1}{1 + e^{-g(x)}} \quad (\text{eq. 1})$$

$$g(x) = B_0 + B_1X_1 + \dots + B_pX_p \quad (\text{eq. 2})$$

Os coeficientes  $B_0, B_1, \dots, B_p$  são estimados por meio de um conjunto de dados, usando o método da máxima verossimilhança, que retorna uma combinação de coeficientes a maximizar a probabilidade de a amostra ter sido observada. Respeitando certa combinação de coeficientes  $B_0, B_1, \dots, B_p$  e com a variação dos valores de  $X$ , pode-se observar que a curva logística tem comportamento probabilístico na forma da letra S, o que é característico na regressão logística conforme mostrado na Figura 36 (GONÇALVES *et al.*, 2013).

Figura 36 – Gráfico função logística



Fonte: Gonçalves *et al.* (2013)

Neste trabalho, caso o modelo fosse linear, poderia ser utilizado o método dos mínimos quadrados, cujo objetivo é minimizar a soma dos quadrados das diferenças entre valores previstos e observados para a variável dependente. Porém, a transformação logística da qual resulta a equação anterior exige que se utilize um procedimento diferente, que é o método da máxima verossimilhança (CORRAR *et al.*, 2007).

O  $R^2$  conhecido como coeficiente de determinação da regressão linear, na regressão logística não dispõe dessa medida rigorosamente idêntica, nesse caso um

pseudo  $R^2$  conhecido  $R^2$  Cox & Snell e  $R^2$  Nagelkerke são os coeficientes que expressam a variação percentual do modelo. Os valores devem variar entre 0 e 1, sendo que quanto maior o valor melhor é o modelo. Entretanto, não devem ser avaliados sozinhos, neste caso, devem ser complementados pelo teste de Omnibus e Hosmer e Lemeshow para verificar a capacidade preditiva do modelo (CORRAR *et al.*, 2007).

Para que o modelo fosse usado, avaliou-se o grau de acurácia do modelo logístico, em que a “significância” (Sig) representou a realidade de forma satisfatória. Para a significância do modelo Omnibus o valor deve ser inferior a 0,05 e para Hosmer e Lemeshow maior que 0,05 sendo quanto maior melhor (CORRAR *et al.*, 2007).

Este método trata de um recurso iterativo que facilita a identificação dos coeficientes necessários ao cálculo da probabilidade máxima associada a determinado evento, ou seja, é uma forma de estimar parâmetros de distribuição de probabilidades que maximizem a função verossimilhança. Geralmente, tal procedimento é executado com o apoio de recursos computacionais e, por isso, evita-se descer a detalhes de cunho operacional. Sendo assim, neste trabalho utilizou-se o software SPSS da IBM® para realizar tais estimativas e que todos os cálculos envolvidos (CORRAR *et al.*, 2007).

O plano de amostragem de empresas respondentes pode ser visto nos Apêndice B e as respostas utilizadas no SPSS para tratativa dos dados utilizados. Na Figura 37 apresenta a inserção das variáveis com seus valores de acordo com as respostas obtidas do “survey”.

Na Figura 38 mostra a configuração de rótulo das variáveis de acordo com as opções de resposta de cada pergunta do questionário correspondente utilizado no método.

Figura 37 – Extrato da tela de dados inseridos no SPSS

	PORTE	UTILIZA_ERP	EMISSÃO_OPs	FIM_OPs	SISTEMA_PROG	FORMA_PR OG	RFID	POSSUI_R FID	FABRICAS_INT ELIGENTES	CPPS
1	Médio	Algumas Vezes	Em Papel	Apontamento ERP	Excel	Todos Iguais	Muito	Não Possui	Adaptação a ...	SIM
2	Grande	Maioria Vezes	Em Papel	Apontamento ERP	Excel	Alguns Dif...	Muito	Alguns P...	Adaptação a ...	SIM
3	Médio	Maioria Vezes	Em Papel	Apontamento ERP	ERP	Todos Iguais	Muito	Não Possui	Conhecendo a ...	NÃO
4	Médio	Utiliza Sempre	Em Papel	Relatório	ERP	Alguns Dif...	Muito	Alguns P...	Conhecendo a ...	SIM
5	Médio	Utiliza Sempre	Digitalizada	Sistema Automático	APS	Alguns Dif...	Pouco	Alguns P...	Conhecendo a ...	NÃO
6	Grande	Não Utiliza	Em Papel	Arquivadas	APS	Todos Iguais	Muito	Não Possui	Adaptação a ...	SIM
7	Médio	Utiliza Sempre	Em Papel	Sistema Automático	APS	Todos difer...	Razoável	Não Possui	Adaptação a ...	NÃO
8	Grande	Utiliza Sempre	Em Papel	Sistema Manual	ERP	Todos Iguais	Pouco	Não Possui	Conhecendo a ...	NÃO
9	Médio	Utiliza Sempre	Em Papel	Apontamento ERP	ERP	Todos difer...	Muito	Não Possui	Conhecendo a ...	SIM
10	Médio	Utiliza Sempre	Em Papel	Apontamento ERP	ERP	Alguns Dif...	Razoável	Não Possui	Algo Distante	SIM
11	Médio	Maioria Vezes	Em Papel	Apontamento ERP	Excel	Alguns Dif...	Muito	Não Possui	Adaptação a ...	SIM
12	Médio	Utiliza Sempre	Digitalizada	Relatório	APS	Alguns Dif...	Pouco	Processo...	Adaptação a ...	NÃO
13	Médio	Utiliza Sempre	Digitalizada	Apontamento ERP	APS	Alguns Dif...	Não Con...	Não Possui	Adaptação a ...	NÃO
14	Médio	Não Utiliza	Em Papel	Arquivadas	Excel	Todos Iguais	Não Con...	Não Possui	Algo Distante	SIM
15	Médio	Não Tem	Em Papel	Relatório	APS	Alguns Dif...	Não Con...	Não Possui	Conhecendo a ...	NÃO
16	Médio	Utiliza Sempre	Digitalizada	Relatório	ERP	Todos Iguais	Não Con...	Não Possui	Adaptação a ...	NÃO
17	Médio	Utiliza Sempre	Em Papel	Apontamento ERP	ERP	Alguns Dif...	Pouco	Não Possui	Adaptação a ...	SIM
18	Grande	Não Utiliza	Em Papel	Relatório	Excel	Alguns Dif...	Não Con...	Não Possui	Algo Distante	NÃO
19	Grande	Utiliza Sempre	Em Papel	Apontamento ERP	ERP	Todos Iguais	Não Con...	Não Possui	Adaptação a ...	NÃO
20	Médio	Maioria Vezes	Em Papel	Apontamento ERP	Excel	Todos difer...	Não Con...	Não Possui	Conhecendo a ...	NÃO
21	Médio	Não Tem	Em Papel	Arquivadas	APS	Todos Iguais	Razoável	Não Possui	Adaptação a ...	SIM
22	Médio	Utiliza Sempre	Digitalizada	Apontamento ERP	ERP	Todos Iguais	Pouco	Não Possui	Esta atrasada	SIM

Fonte: O Autor (2022)

Figura 38 – Extrato da tela visualização da configuração das variáveis

	Nome	Tipo	Largura	Decimais	Rótulo	Valores	Ausente	Colunas	Alinhar	Medir	Função
1	PORTE	Númérico	12	0		{0, Médio...	Nenhum	5	Direito	Nominal	Entrada
2	UTILIZA_ERP	Númérico	12	0		{0, Não T...	Nenhum	10	Direito	Ordinal	Entrada
3	EMISSÃO_...	Númérico	12			{0, Não F...	Nenhum	7	Direito	Ordinal	Entrada
4	FIM_OPs	Númérico	12								Entrada
5	SISTEMA_...	Númérico	12								Entrada
6	FORMA_P...	Númérico	12								Entrada
7	RFID	Númérico	12								Entrada
8	POSSUI_R...	Númérico	12								Entrada
9	FABRICAS...	Númérico	12								Entrada
10	CPPS	Númérico	12								Entrada
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											

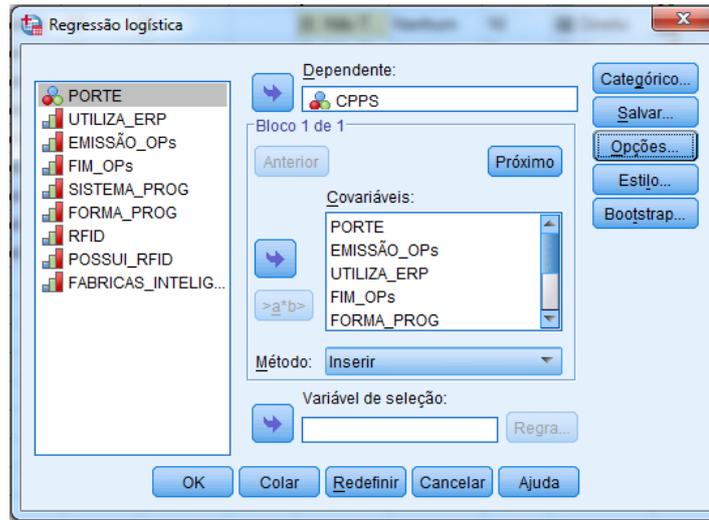
  

Rótulos de valor	
Valor:	
Rótulo:	
0 = "Não Tem" 1 = "Não Utiliza" 2 = "Algumas Vezes" 3 = "Maioria Vezes" 4 = "Utiliza Sempre"	

Fonte: O autor (2022)

A Figura 39 apresenta a configuração da relação entre a variável dependente e as variáveis independentes, sendo que o método utilizado foi o de inserção.

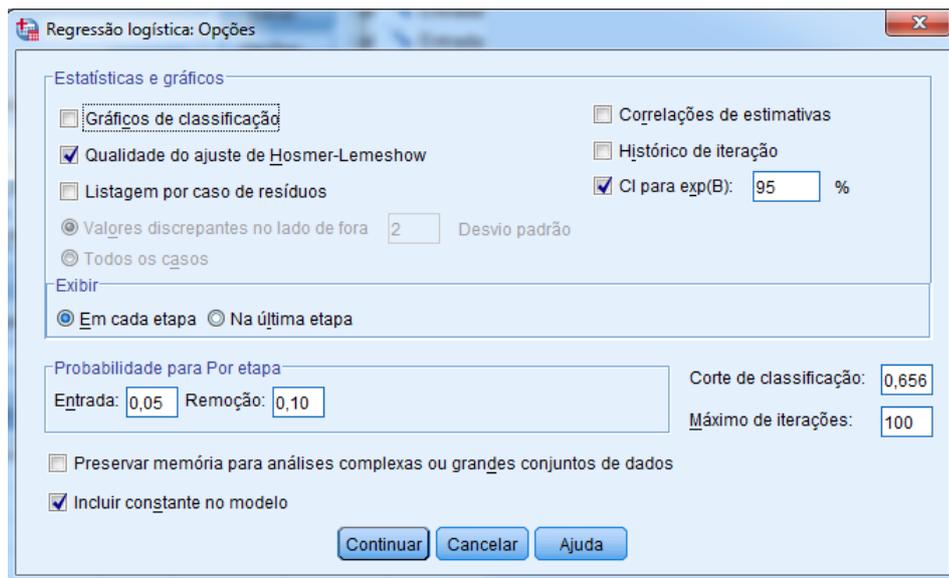
Figura 39 – Extrato da tela carregamento das variáveis independentes e dependente



Fonte: O autor (2022)

Para a configuração dos dados de saída de análise foi selecionado apresentar o intervalo de confiança em 95%, mostrar a qualidade de ajuste de Hosmer-Lemeshow e o corte de classificação em 0,656 de acordo com o percentual das empresas que possuem monitoramento em tempo real. As configurações podem ser vistas na Figura 40.

Figura 40 – Extrato da tela de configurações das opções



Fonte: O autor (2022)

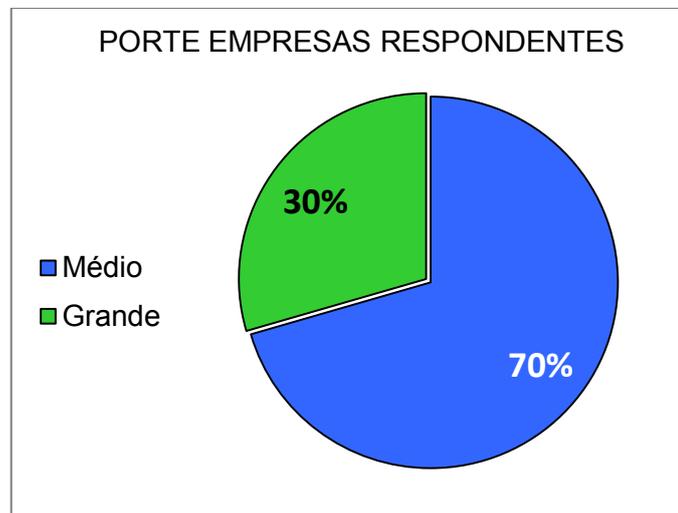
Os dados de saída do software bem como os resultados do questionário serão abordados no Capítulo 4 – Discussão de Resultados.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir será demonstrado os resultados da pesquisa tipo *survey* nas indústrias Têxteis e Vestuário de Santa Catarina.

Na Figura 41 é possível verificar o percentual das empresas respondentes de médio e grande porte em que, 30% correspondem a grande porte e 70% a médio porte. Entretanto, no Quadro 5 a amostragem de empresas de grande porte corresponde 46%, essa diferença entre esperado e realizado se deu por que nem todas as empresas responderam o questionário conforme mostrado na Figura 34.

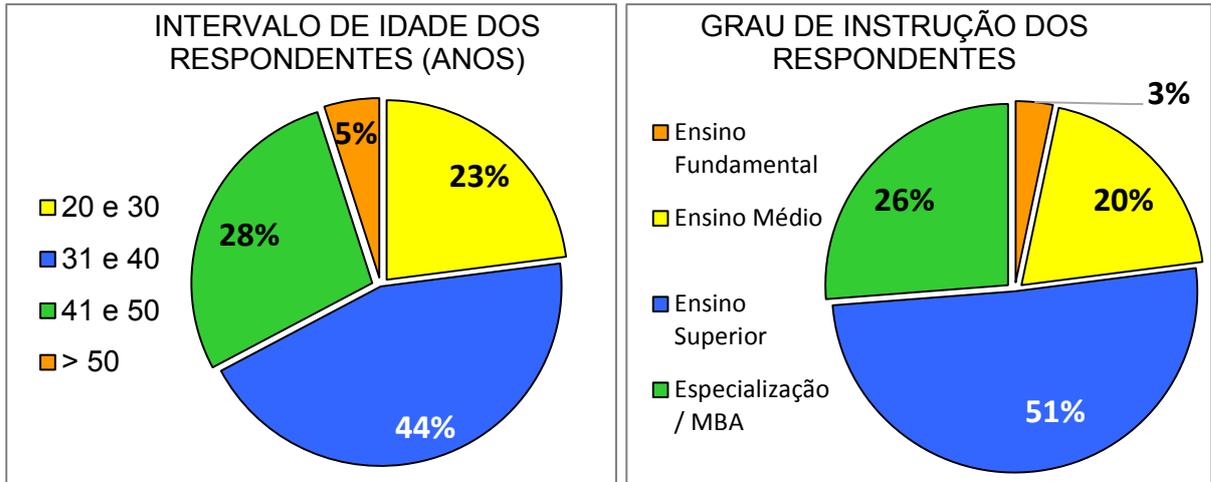
Figura 41 - Representatividade das empresas por porte



Fonte: O autor (2022)

Dos dados de identificação referente as respondentes, na Figura 42 é mostrado o intervalo de idade em que 77% tem mais de 30 anos e também é possível observar o grau de instrução dos respondentes, sendo que 80% possuem graduação e conseqüentemente muitos conceitos administrativos podem ter sido assimilados. Conforme Corrêa e Corrêa (2017) o conhecimento pode contribuir para uma busca de melhor desempenho das empresas em frente ao cenário de competição global.

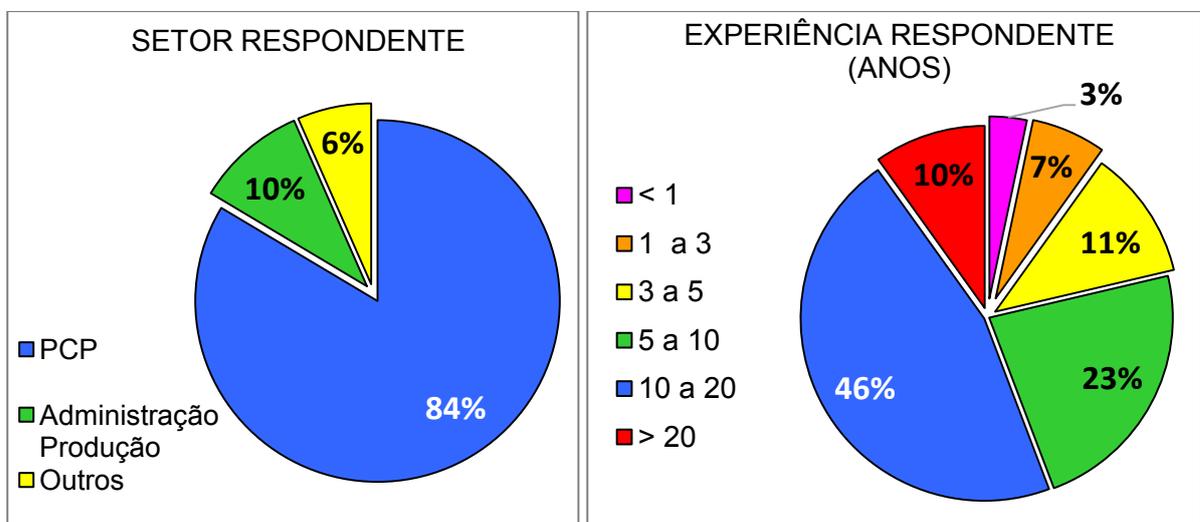
Figura 42 – Dados informacionais – Idade X Grau de Instrução



Fonte: O autor (2022)

Ainda analisando os dados de identificação dos respondentes, na Figura 43 é possível identificar que 84% das pessoas atuam diretamente na área de Programação e Controle da Produção (PCP) o que demonstra uma significância das respostas, pois o trabalho tem como foco a área da manufatura e de acordo com Bueno *et al.* (2020), o PCP é quem faz a emissão e sequenciamento das Ordens de Produção, controle da capacidade produtiva entre outros planejamentos. A figura traz também o tempo de experiência dos respondentes e 79% tem no mínimo 5 anos de atuação na área, o que demonstra um profundo conhecimento nas atividades voltadas para o planejamento da manufatura.

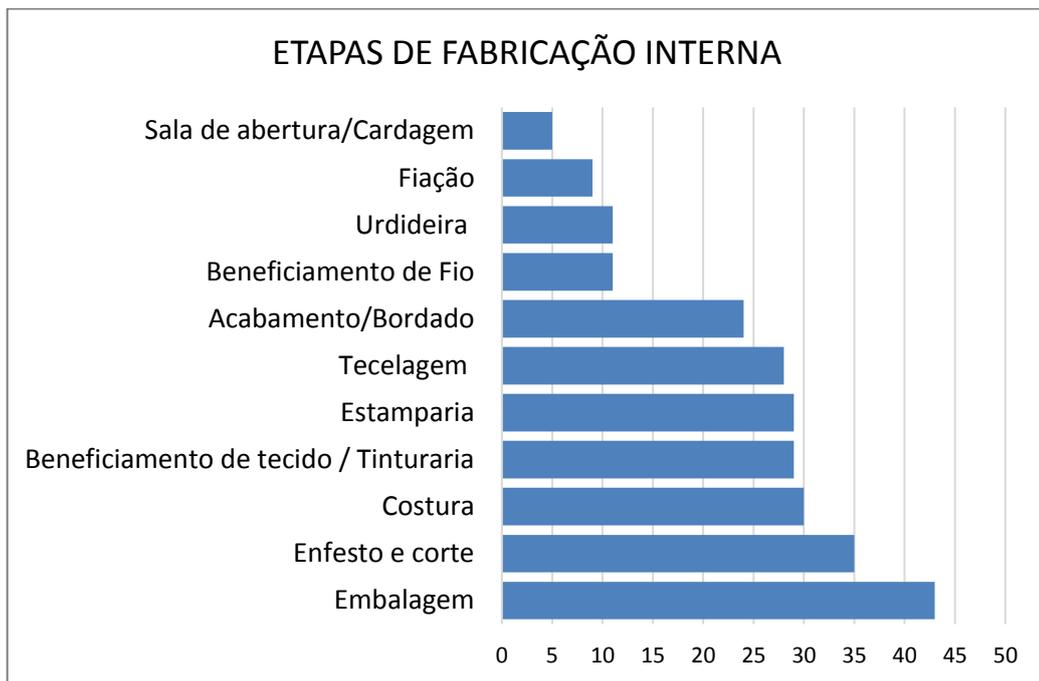
Figura 43 – Dados informacionais – Setor X Experiência



Fonte: O autor (2022)

Na análise dos dados informacionais, a Figura 44 mostra os setores respondentes e é possível identificar que todos os setores fazem parte do fluxo de processo de fabricação têxtil de acordo com o Anexo A e B, sendo que para este estudo o maior destaque foi para os setores enfesto/corte, costura, estamparia, tinturaria e tecelagem respectivamente. Já a área de embalagem é comum para a maioria dos processos de fabricação industrial.

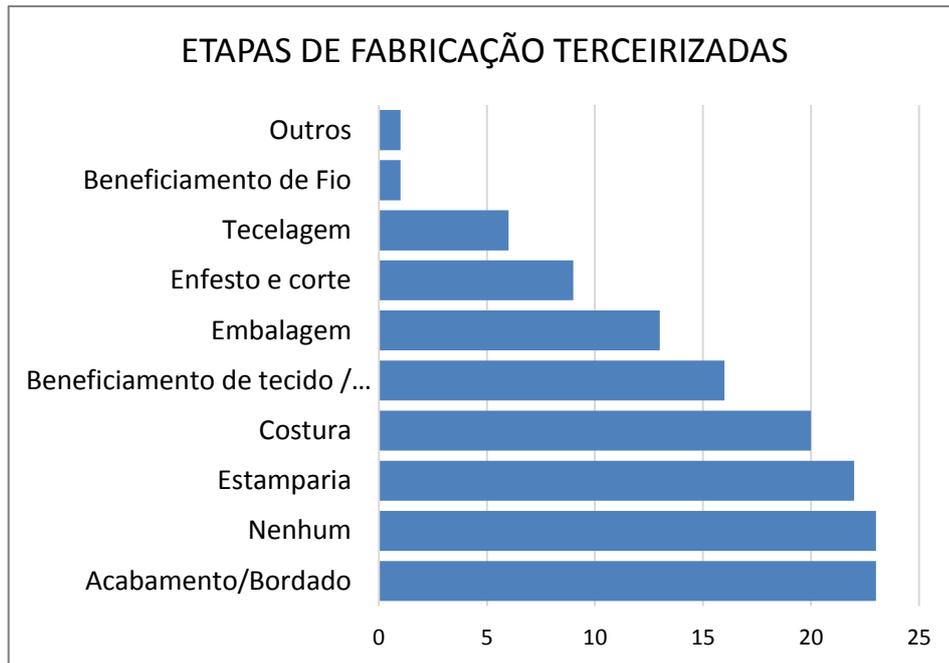
Figura 44 – Processos internalizados



Fonte: O autor (2022)

A Figura 45 demonstra as áreas dentro do fluxo que são terceirizadas, embora que 23 empresas aproximadamente não tenham algum processo realizado fora de suas dependências, os processos que mais foram identificados são acabamento, estamparia e costura respectivamente. Em processos terceirizados há uma necessidade especial para se garantir o rastreamento dos lotes de produção e segundo Wang *et al.* (2018) com a tecnologia atual é possível criar uma fábrica conjunta virtual de fábricas e processamentos terceirizados.

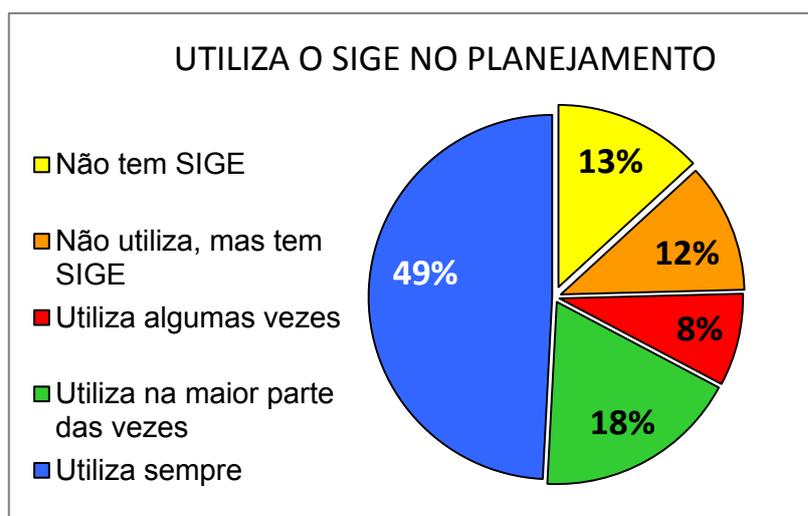
Figura 45 – Processos terceirizados



**Fonte: O autor (2022)**

A Figura 46 apresenta a utilização do Sistema Integrado de Gestão Empresarial (SIGE) no planejamento da manufatura e apenas 49% utilizam o SIGE “sempre”, 26% o uso é “algumas” ou “na maior parte das vezes” e 25% “não tem” ou “não fazem uso do SIGE”. Das empresas que utilizam o SIGE sempre, somente 8 são de grande porte e 22 de médio porte. De acordo com Babaei *et al.* (2015), Shen *et al.* (2016) e Bueno *et al.* (2020) o SIGE visa auxiliar as tomadas de decisões de forma evolutiva e integrativa na gestão das operações numa analogia do cérebro que comanda a atividade de planejamento da fábrica. Neste sentido, pode-se perceber que apenas a metade dos respondentes tem suas áreas de planejamento fazendo o uso de forma integral desta Tecnologia da Informação e Comunicação, o que compromete o pleno desempenho industrial de fabricação.

Figura 46 – Planejamento da fábrica usando o SIGE



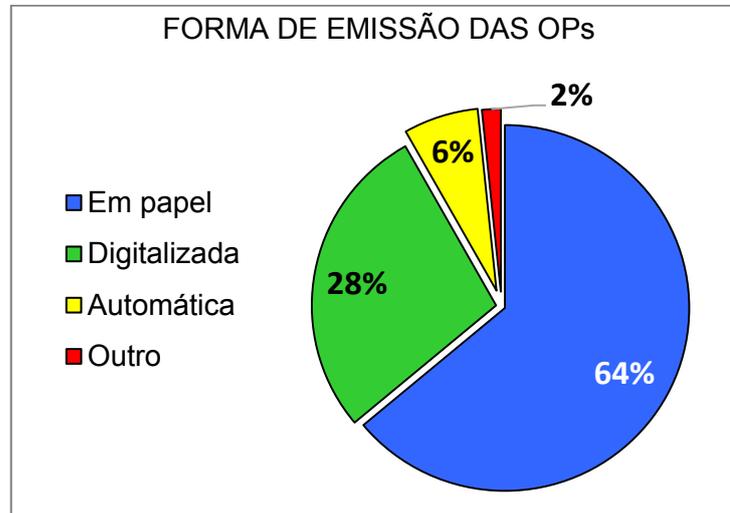
Fonte: O autor (2022)

Uma das características do emprego das Tecnologias de Informação e Comunicação é a digitalização das informações. Entretanto, 64% das emissões da Ordem de Produção são “em papel” conforme pode ser visto na Figura 47. Das empresas que possuem a forma digitalizada ou automática de emissão de Ordens de Produção (OPs), somente 9 em 18 são de grande porte. De acordo com Ku *et al.* (2020) e Ha *et al.* (2018) a digitalização das OPs traz as informações com maior rapidez e de forma confiável, sem a necessidade de espaço para arquivamentos físicos e reduzindo custos com papel. Além disso, Mantravadi e Møller (2019) e Souza *et al.* (2021) comentam que a adoção de um Sistema de Execução de Manufatura (SEM), por exemplo, gerencia várias atividades no chão de fábrica e evita completamente o trabalho de emissão de Ordens de Produção (OPs) em papel sendo uma ferramenta de mudança a nível organizacional.

Outra característica importante relevante para uma fábrica inteligente é o destino das OPs durante ou ao final da execução do processo. A Figura 48 mostra que 49% fazem o “apontamento das OPs no SIGE”, 20% “alimentam algum relatório de cumprimento da programação da produção” e 20% “descartam” ou simplesmente “arquivam” as OPs sem aproveitamento dos dados, sendo que somente 8% faz a retroalimentação do sistema de forma automática. Das empresas que apontam as OPs no SIGE ou fazem a retroalimentação de forma automática, 10 são de grande porte e 25 de médio porte. Segundo Naedele *et al.* (2015) e Coronado *et al.* (2018), a retroalimentação tem um impacto positivo na produtividade e conforme (Andronie *et*

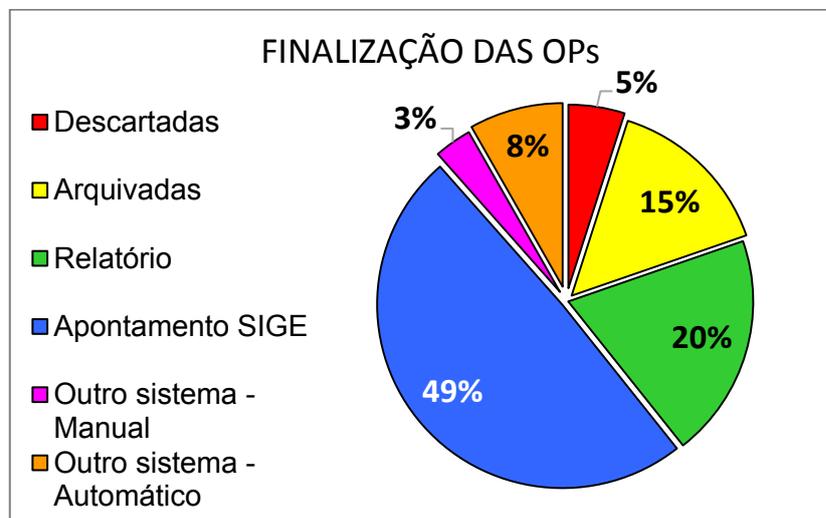
*al.* (2021) e Jiang *et al.* (2018) os *loops* de *feedback* são essenciais para o funcionamento de um SCFP.

Figura 47 – Emissão das Ordens Produção



Fonte: O autor (2022)

Figura 48 – Destino das Ordens de Produção

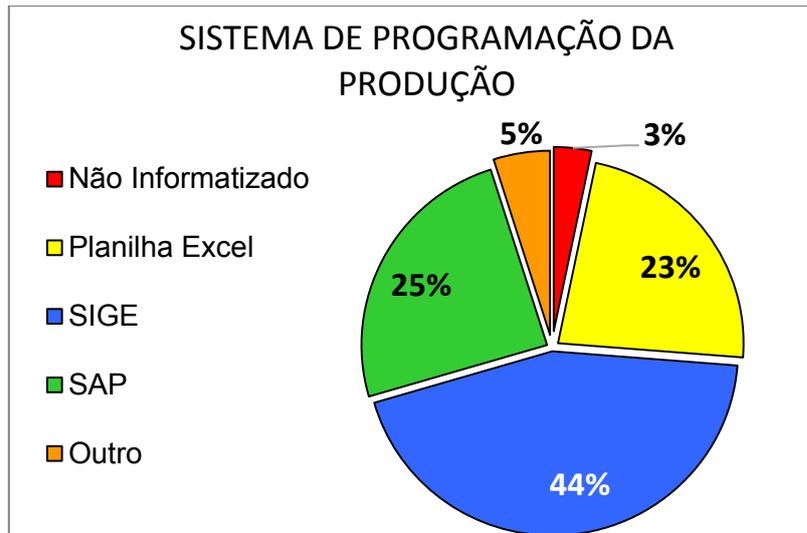


Fonte: O autor (2022)

O sistema de programação na visão de Jeon *et al.* (2017) é essencial para que se possa atingir a eficiência no planejamento da manufatura. Na Figura 49 é possível identificar que em 26% das empresas o sistema é “não informatizado” ou utiliza “planilhas de Excel” que não são indicadas para essas atividades. Entretanto, 69% das empresas utilizam o SIGE ou o Sistema Avançado De Programação (SAP) para fazer a Programação da Produção, sendo que 13 são de grande porte e 32 de

médio porte. De acordo com Öztürk e Ornek (2014) o uso único do SIGE é falho porque ignora as restrições de capacidade, segundo Wang *et al.* (2021) o SAP vem de encontro para suprir esta necessidade de gerar um plano viável, mas essencialmente os dois devem trabalhar de forma integrada.

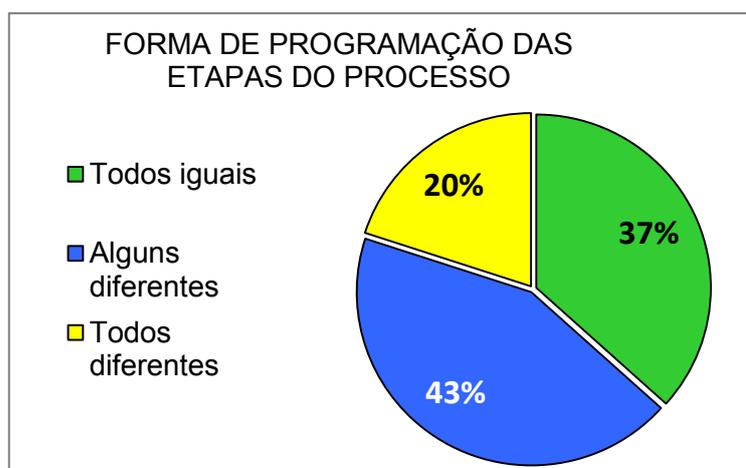
Figura 49 – Sistema utilizado no PCP



Fonte: O autor (2022)

A lógica de programação é a forma que o sistema deve executar e adaptar o algoritmo e parametrizações de funcionamento da programação da produção. Segundo Ugarte *et al.* (2009), a diversidade de processos complexos além de uma variedade de banco de dados ou planilhas desenvolvidos no chão de fábrica tornam os sistemas poucos responsivos. A Figura 50 apresenta que somente 37% possuem a mesma forma de programação para todas as etapas, sendo que 6 são de grande porte e 16 de médio porte. Conforme Sadiku *et al.* (2017) e Yue *et al.* (2019), a heterogeneidade de dados e as particularidades de diversos produtos dificulta aos sistemas oferecerem suporte aos processos da manufatura.

Figura 50 – Lógica de Programação da Produção

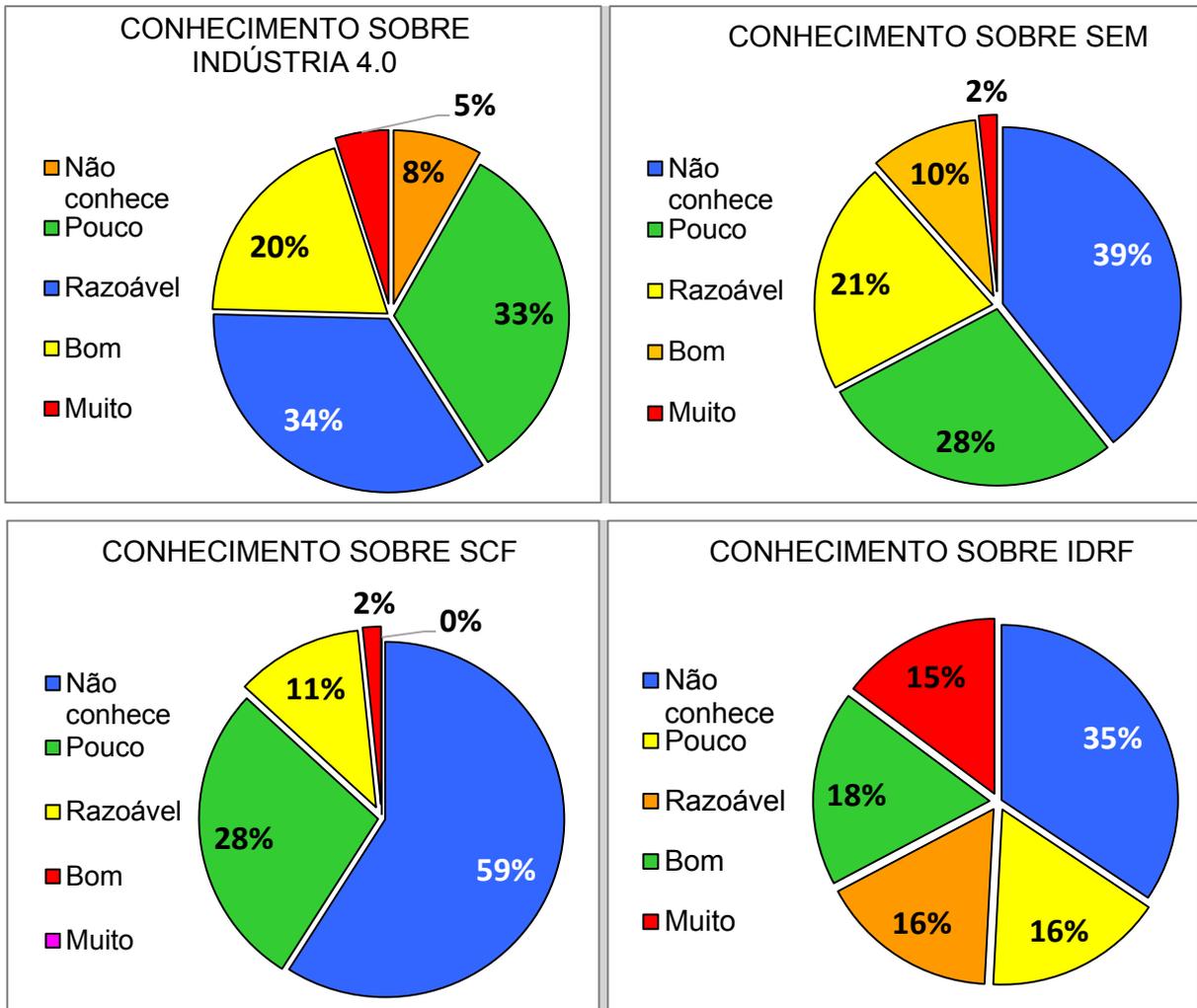


Fonte: O autor (2022)

A Figura 51 apresenta o conhecimento sobre “indústria 4.0”, e que somente 25% tem um conhecimento “muito” ou “bom”, assim como o “SEM” em torno de 12%, o “SCF” são 2% e o “IDRF” com o maior deles em torno de 33%. Das empresas que responderam “bom” ou “ótimo” para conhecimento em Indústria 4.0, SEM, SCF e IDRF somente 3 empresas são de grande porte e 3 de médio porte. Conforme Cloppenburg *et al.* (2017) e Jung *et al.* (2021) a dificuldade para a evolução e implantação de fabricas inteligentes estão na questão de que a Indústria 4.0 ainda não é suficientemente conhecida e para Farooq *et al.* (2020), essa é uma área que demanda pesquisa tanto na indústria quanto na academia. Na visão de Petri *et al.* (2021b) as pesquisas sobre SCF estão ainda muito no início dentro das indústrias têxteis.

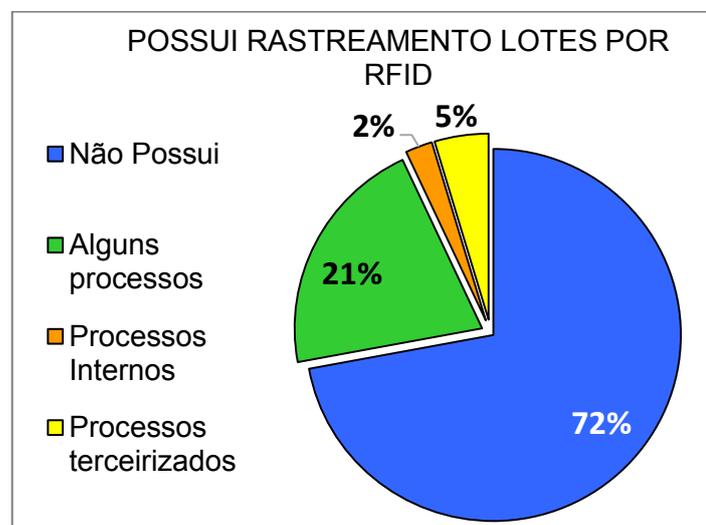
Embora o conhecimento sobre Identificação por Rádio Frequência (IDRF) seja o maior deles, ainda aplicação de uso de rastreamentos de lotes por IDRF não é muito significativo, pois na Figura 52 mostra que 72% “não possui” a tecnologia e apenas 5% para processos terceirizados. As empresas que possuem algum tipo de utilização de rastreamento IDRF, somente 2 são de grande porte e 10 de médio porte. Segundo Ugarte *et al.* (2009), o uso de etiquetas IDRF melhoram o monitoramento do chão de fábrica, pois podem armazenar muitos dados e tem a vantagem de não precisarem contato mecânico no seu uso. Segundo Hua *et al.* (2008) e Ha *et al.* (2019) o uso do IDRF em processos interno permite atualizações em tempo real dos estoques quando integradas ao SEM e Wang *et al.* (2018), mostra que na etapa de confecção, por exemplo, o IDRF pode auxiliar no rastreamento do processo de fabricação em tempo real principalmente para processos realizados por terceiros.

Figura 51 – Conhecimento de tecnologias relacionadas ao SCFP



Fonte: O autor (2022)

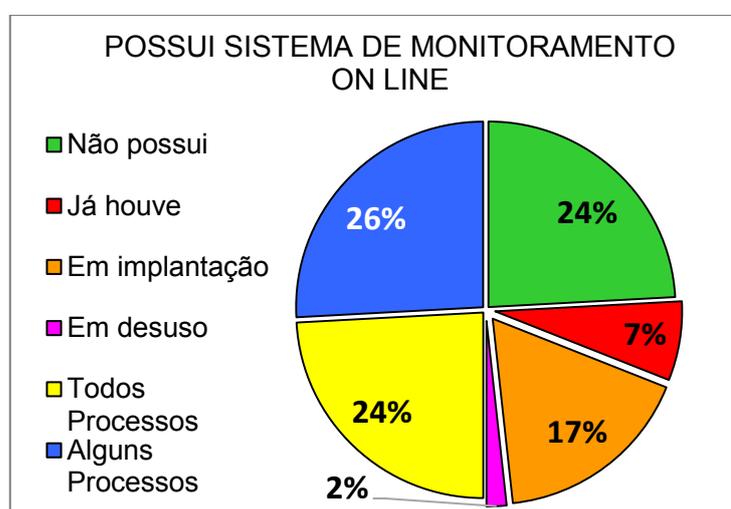
Figura 52 – Utilização da tecnologia IDR



Fonte: O autor (2022)

A Figura 53 mostra que aproximadamente 24% “não possui” ou 7% “já houve” o monitoramento do processo em tempo real e em contra partida, 24% possui “em todos os processos” ou 26% em “alguns processos” sendo monitorados, sendo que dessas empresas, 14 são de grande e 25 de médio porte. De acordo com Masood e Sonntag (2020) e Kim (2017) o processo de monitoramento em tempo real é usado para visualiza, analisar e controlar o processo no chão de fábrica. Basicamente ele é essencial para uma fábrica inteligente, pois conforme Shen *et al.* (2016) e Babaei *et al.* (2015) facilita o fluxo de informações, melhora o fluxo de materiais e reduz os tempos de ciclo de fabricação, e neste sentido há ainda um longo caminho a ser trilhar.

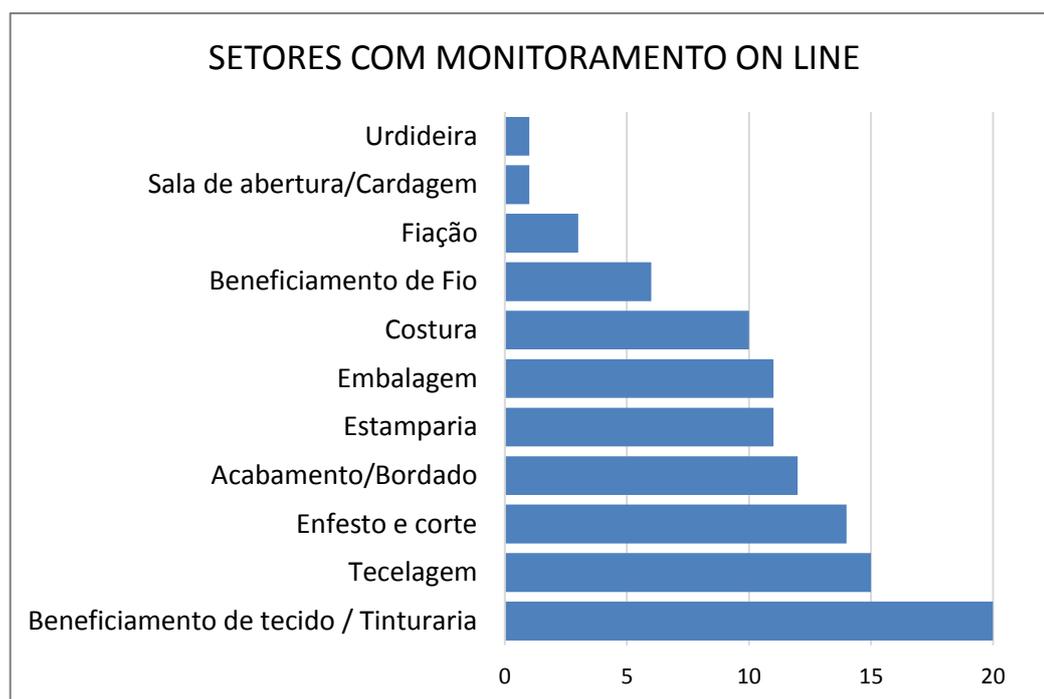
Figura 53 – Utilização de sistema de monitoramento



Fonte: O autor (2022)

Na Figura 54 traz a relação das etapas produtivas dentro das indústrias respondentes que mais aparecem com monitoramento em tempo real, sendo que há um destaque para a área de beneficiamento/tinturaria de tecido, seguido pela tecelagem, enfesto/corte e acabamento respectivamente. Mesmo assim, é possível verificar que há respondentes que possuem o monitoramento em tempo real também em outras etapas, sendo possível identificar a utilização em todas as etapas do fluxo do processo conforme apresentado no Anexo A e B. Entretanto, este trabalho identificou o beneficiamento como a área mais significativa, já na revisão de literatura apareceram mais cases em Fiação e Confecção conforme apresentado no Quadro 4.

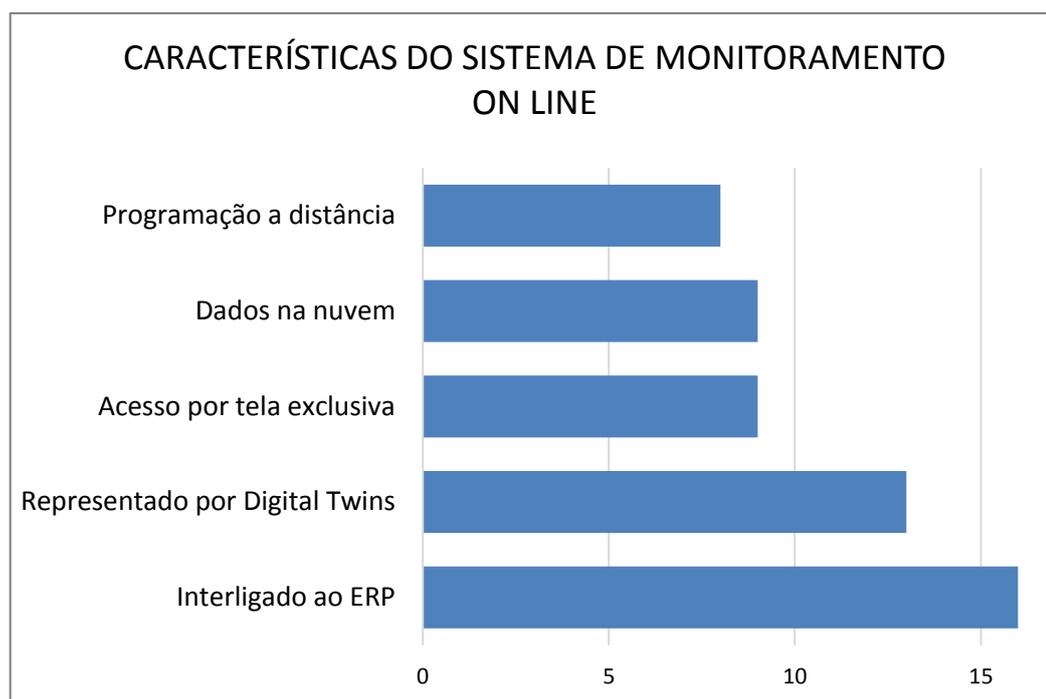
Figura 54 – Setores da empresa monitoradas



Fonte: O autor (2022)

A seguir, a Figura 55 apresenta as características do sistema de monitoramento em tempo real em que, a “interligação com o SIGE” e a “representação pelo *Digital Twins*” são as mais evidentes, além de “dados disponibilizados na nuvem” e podem ser “programados a distância”. Entretanto, alguns sistemas só podem ter acesso direto na IHM exclusiva do sistema. Dessa maneira, o sistema não faz uso da internet e conforme Kim (2017), SCF e IoT são considerados a base da indústria 4.0. Segundo Lu (2017) e Allaoui *et al.* (2019) a interligação do sistema de monitoramento em tempo real com o Sistema Integrado de Gestão Empresarial (SIGE) dá a capacidade dos dois sistemas se entenderem por meio do compartilhamento de dados entre si, ou seja, a integração e interoperabilidade necessária num SCFP. Já a representatividade do mundo real por meio do Gêmeo Digital é abordado por Andronie *et al.* (2021) e Coronado *et al.* (2018) como essencial para visualizar e controlar o chão de fábrica. Além disso, para Manickam e Kumar (2020), Nord *et al.* (2019) e Lee *et al.* (2014) esses sistemas conectados na internet e os dados disponibilizados na nuvem, podem ser analisados em ambientes de *Big Data* e auxiliarem os responsáveis pela área de manufatura na tomada de decisão de forma cada vez mais eficiente.

Figura 55 –Características do sistema



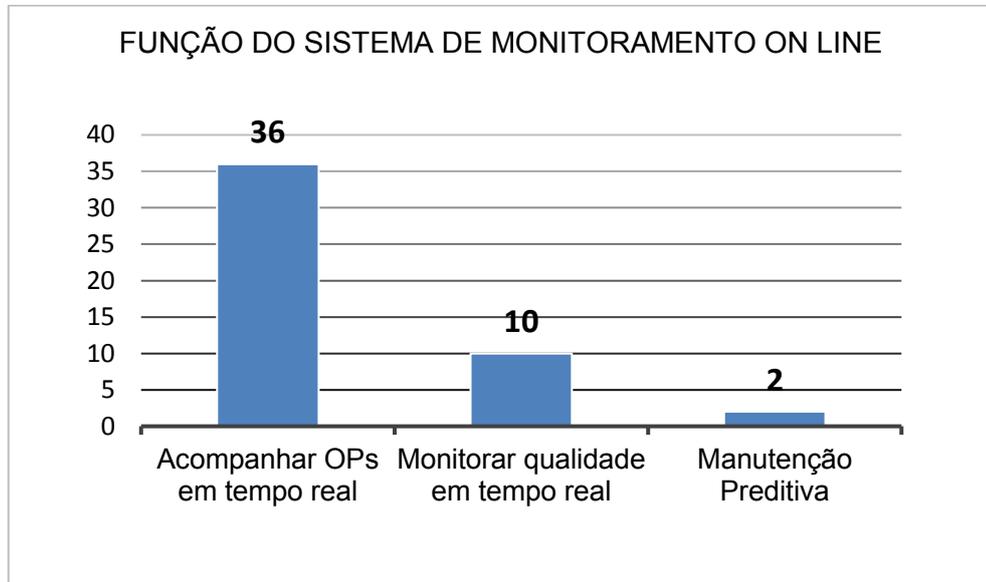
**Fonte: O autor (2022)**

A Figura 56 mostra as principais funções do sistema apresentados pelo sistema de monitoramento em que 36 a aplicação é para acompanhar a execução das Ordens de Produção (OPs) em tempo real, sendo que 10 para acompanhamento da qualidade e para auxiliar na manutenção preditiva é somente duas empresas. De acordo com Coronado *et al.* (2018) o acompanhamento das OPs em tempo real traz maior transparência e rapidez de informações disponibilizadas para gerentes, fornecedores ou clientes que realizam ações relacionadas no chão de fábrica. Conforme Shao *et al.* (2015) e Jung *et al.* (2021) os sistemas de monitoramento foram usados na detecção de falhas em tecelagem ou falhas de costura em confecção. Além disso, segundo Lee *et al.* (2014) e Kim (2017) as tecnologias preditivas por meio de algoritmos inteligentes são usados para prever a degradação de desempenho de máquinas e Manglani *et al.* e Yin *et al.* (2020) apresentam aplicações em fiação para gerar um diagnóstico de manutenção inteligente. Esta aplicação pode trazer redução de custo e de tempo de inatividade.

Nos sistemas de monitoramento em tempo real segundo Manglani *et al.* (2019), Sadiku *et al.* (2017), Farooq *et al.* (2020) e Mantravadi e Møller (2019) trazem algumas vantagens e são apresentadas na Figura 57 em que, é possível verificar quais são as vantagens mais percebidas pelos respondentes. A geração de dados

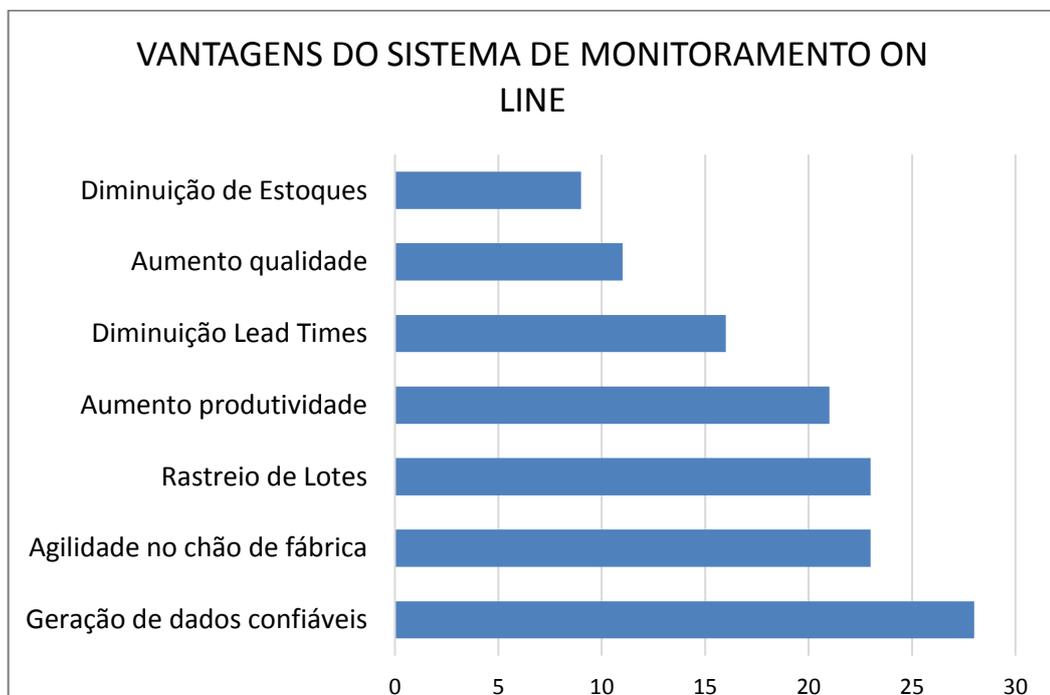
confiáveis, o rastreo de lotes, agilidade no chão de fábrica e aumento de produtividade são algumas encontradas com maior destaque na pesquisa.

Figura 56 – Função do sistema



Fonte: O autor (2022)

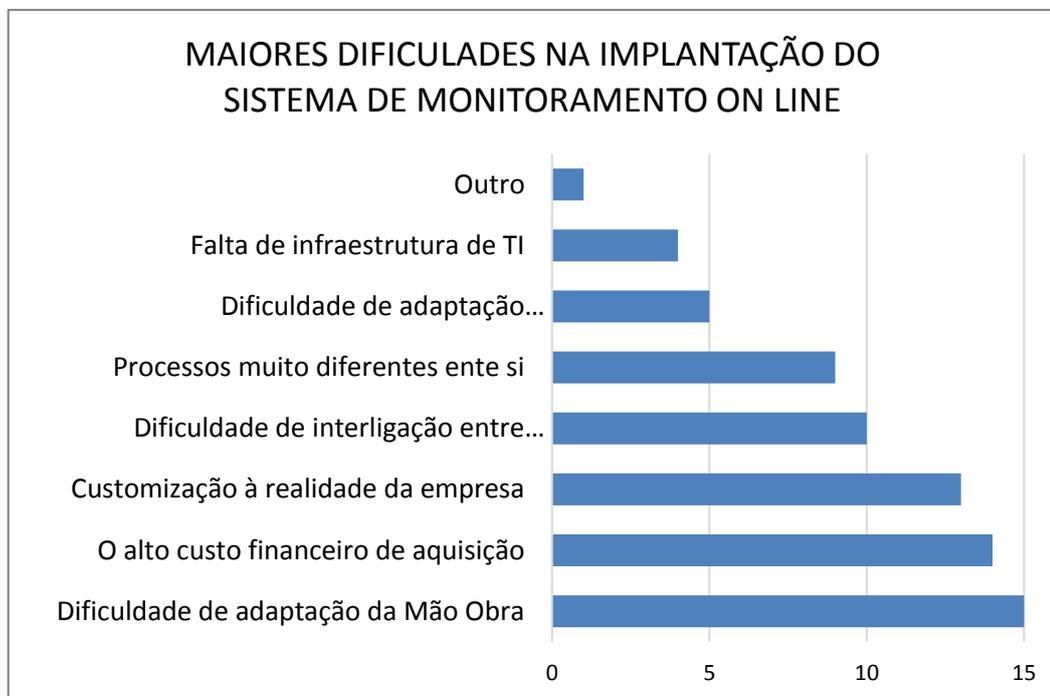
Figura 57 – Vantagens do sistema



Fonte: O autor (2022)

A adaptação às tecnologias podem trazer algumas dificuldades e segundo Yue *et al.* (2019), Coronado *et al.* (2018) e Witsch e Vogel-Heuser (2012) a particularidade de cada processo, a necessidade de instalação de *hardware* dedicado nada baratos e a falta de infraestrutura para a coleta de dados são alguma dessas dificuldades, ou ainda conforme Masood e Sonntag (2020) a dificuldade de uso de uma nova tecnologia. Na Figura 58 é possível identificar quais as maiores dificuldades enfrentadas pelas empresas na implantação do sistema de monitoramento em tempo real sendo que, a adaptação da mão de obra operacional, o alto custo financeiro e a customização a realidade da empresa aparecem entre as maiores.

Figura 58 – Dificuldades de implantação

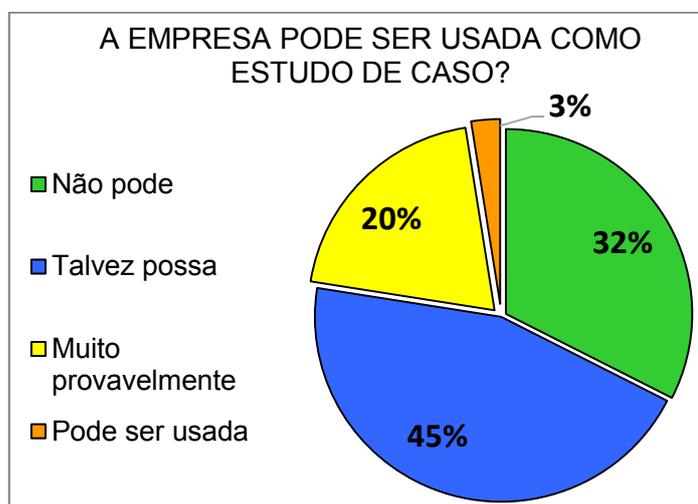


Fonte: O autor (2022)

A Figura 59 mostra os resultados dos respondentes que consideram o seu *case* de implantação de sistema de monitoramento em tempo real de forma eficiente, e assim poderiam ser usados para alguma pesquisa futura de estudo de caso. Pode-se observar que somente 3% “podem” ser usadas e 20% “muito provavelmente”, sendo que os demais 67% ou o sistema não está em operação de forma eficiente ou não teria a intenção de divulgação. Conforme Cloppenburg *et al.* (2017) e visto na Figura 47, ainda falta muito conhecimento sobre as tecnologias que compõem o SCFP e, segundo Chen (2017), há a necessidade de se realizar mais pesquisas e divulgar

os resultados para que possa auxiliar essa transformação na indústria, principalmente no segmento Têxtil e Vestuário.

Figura 59 – Exemplos de aplicação de sucesso

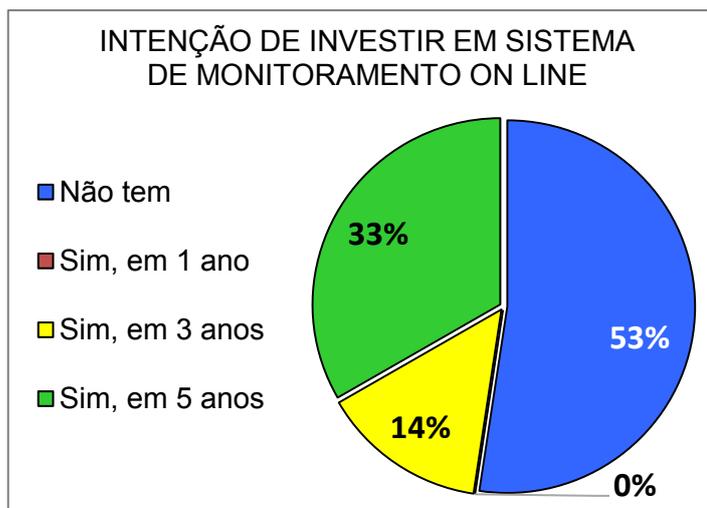


Fonte: O autor (2022)

As empresas que ainda não implantaram qualquer sistema de monitoramento em tempo real, responderam que 53% não tem interesse em investir conforme pode ser visto na Figura 60 e o restante somente nos próximos 3 a 5 anos. As empresas que não tem interesse de realizar o investimento são todas de médio porte. De acordo com Santos (2018) a indústria brasileira Têxtil e Vestuário tem-se mostrado atrasada em promover a entrada do setor no ambiente global da Indústria 4.0. As respostas refletem que, segundo Chen (2019) e Ślusarczyk *et al.* (2019) as indústrias de vestuários são consideradas de “baixa tecnologia” e especialmente para empresas de pequeno e médio porte.

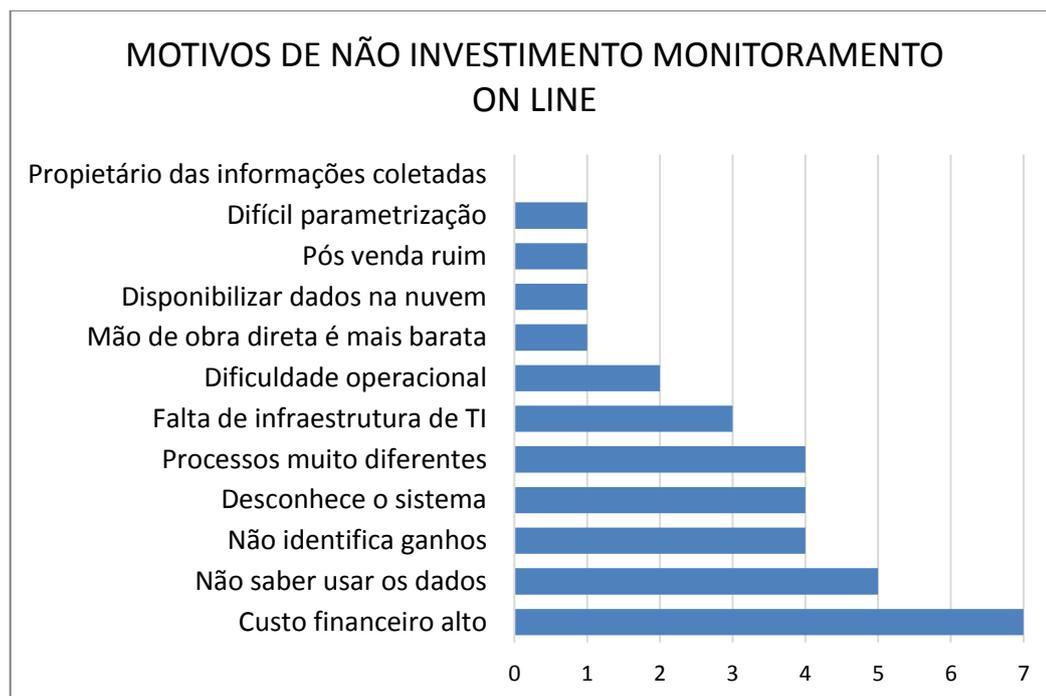
O não investimento em sistemas de monitoramento em tempo real se dá por alguns motivos, de acordo com Yue *et al.* (2019) e Masood e Sonntag (2020) as limitações de conhecimento, infraestrutura e recursos financeiros além de fatores sociais, processos muito diferentes entre si e insegurança quanto ao armazenamento dos dados são alguns dos responsáveis para a não implementação de tecnologias da indústria 4.0. Na Figura 61 pode-se identificar os motivos do não investimento em que o mais significativo é o custo financeiro alto, seguido de não saber o que fazer com os dados gerados, desconhecimento da função do sistema ou não identificação dos ganhos além da heterogeneidade dos processo de fabricação.

Figura 60 – Implantação do sistema futuramente



Fonte: O autor (2022)

Figura 61 – Barreiras para implantação do sistema

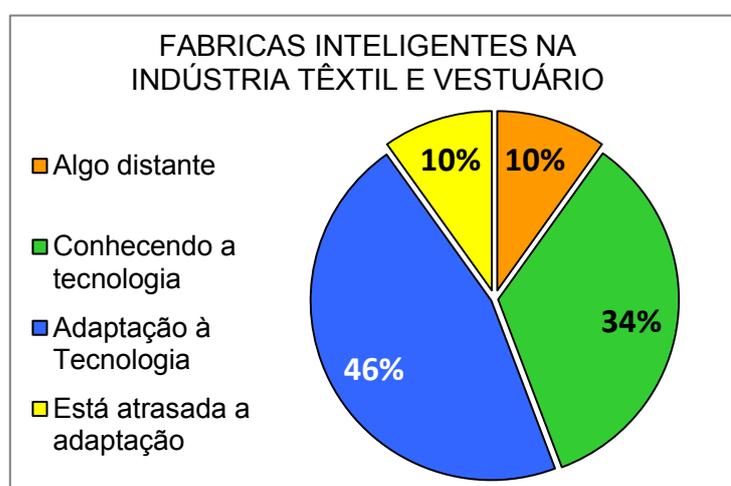


Fonte: O autor (2022)

Na Figura 62 mostra como está a percepção dos respondentes na questão da adaptação da área de planejamento da manufatura em relação a indústria 4.0. Embora o uso de SCF ainda esteja no começo nas indústrias têxteis brasileiras segundo Andronie *et al.* (2021), essa integração de sistemas heterogêneos multidisciplinares tem sido motivo de muitas pesquisas em várias áreas. Entretanto, alguns desses sistemas como Sistema Integrado de Gestão Empresarial (SIGE), Sistemas de

Execução de Manufatura (SEM), Sistema Avançado De Programação (SAP), SCF, Identificação por Rádio Frequência (IDRF) entre outros não são tão recentes assim, e conforme Babaei *et al.* (2015), Hvolby e Steger-Jensen (2010) e Naedele *et al.* (2015) essas tecnologias datam da década de 90. Entretanto, é possível notar na que somente 20% enxergam a situação como “distante” ou “atrasada” do cenário atual, e essa percepção vai de encontro com Lee *et al.* (2014) em que máquinas de autoaprendizagem ainda estão muito longe de terem implementadas atualmente nas indústrias.

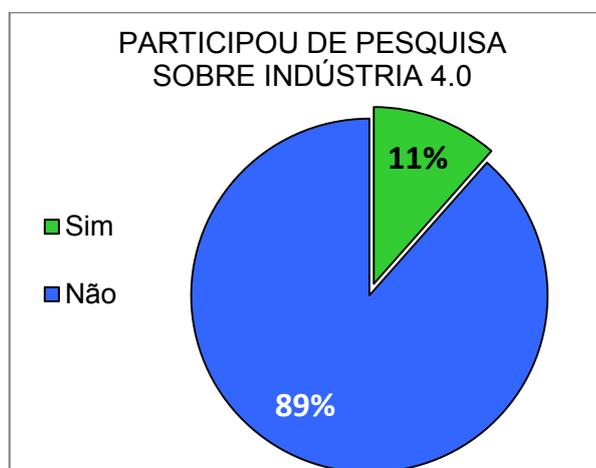
Figura 62 – Percepção da Indústria 4.0



Fonte: O autor (2022)

Essa pesquisa identificou que a maioria dos respondentes tem alguns anos de experiência conforme visto na Figura 63, entretanto 89% responderam nunca ter participado de uma pesquisa sobre fábricas inteligentes ou indústria 4.0. Esta situação demonstra que há uma necessidade maior de interação entre a indústria e a academia de modo a promover a disseminação da aplicação das Tecnologias de Informação e Comunicação nos processos produtivos, em especial na área de planejamento da manufatura rumo a indústria 4.0.

Figura 63 – Participação em pesquisa



Fonte: O autor (2022)

Na continuidade de análise dos dados, foi realizada a regressão logística binária para verificar se: o porte da empresa; o sistema de emissão de Ordens de Produção (OPs); utilização de SIGE no planejamento; a finalização das OPs; o sistema usado para programação da produção; a forma de programação da fábrica; conhecimento e utilização de IDRF e a opinião sobre fábricas inteligentes são previsores de possuírem o monitoramento em tempo real da produção e da qualidade do produto.

No Quadro 8, 9 e 10 pode ser visto o valor do  $R^2$  Nagelkerke em 0,303, Omnibus que ficou em 0,034 e Hosmer e Lemeshow em 0,424. Os valores encontrados mostram que o modelo é aplicável conforme descrito na metodologia.

Quadro 8 - Resumo do modelo

Etapa	Verossimilhança de log -2	$R^2$ Cox & Snell	$R^2$ Nagelkerke
1	63,415 <sup>a</sup>	0,220	0,303

Fonte: O autor (2022)

No Quadro 11 pode ser visto o quadro de classificação final como estimadores do *status* de que a empresa pode assumir ter um sistema SCFP de acordo com as variáveis independentes do modelo. O modelo predictor gerado pelo SPSS teve um acerto de previsibilidade em 75,4% no total, em que para as o *status* “NÃO” são 18

em 21 e para “SIM” são 28 em 40, resultando em 85,7% e 70% de acertos respectivamente.

Quadro 9 - Testes de coeficientes de modelo Omnibus

		Qui-quadrado	df	Sig.
Etapa 1	Etapa	15,131	7	,034
	Bloco	15,131	7	,034
	Modelo	15,131	7	,034

Fonte: O autor (2022)

Quadro 10 - Teste de Hosmer e Lemeshow

Etapa	Qui-quadrado	df	Sig.
1	8,097	8	0,424

Fonte: O autor (2022)

Quadro 11 – Classificação Previsto X Observado

Observado			Previsto		
			SCFP		Porcentagem correta
			SIM	NÃO	
Etapa 1	SCFP	NÃO	18	3	85,7
		SIM	12	28	70
Porcentagem global					75,4

Fonte: O autor (2022)

De acordo com as operações computacionais de interação o Quadro 12 apresenta as respectivas variáveis independentes significativas da equação de regressão logística, em que o coeficiente “B” compõem os valores de  $g(x)$  conforme visto na equação 2. Cada pergunta é considerada uma variável do modelo e sua respectiva resposta categorizada conforme pode ser visto no apêndice B são usadas nas interações do software, essa interação traz com resultados as variáveis que possuem maior colinearidade com a variável independente. O valor de “Sig” mostra o quanto a variável é significativa, ou seja, quanto menor for o valor melhor é sua relevância. A três variáveis mais significativas são: o porte das empresas; a emissão de Ordens de Produção e a forma de programação da produção.

A aplicação de um filtro para as 6 variáveis trazidas do modelo e comparadas ao porte das empresas, somente 1 empresa de grande porte aparece com todos os resultados que se esperam ter numa empresa adaptada a implantação de um SCFP.

Quadro 12 - Variáveis na equação

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Etapa 1ª EMISSÃO_OPs	,960	,611	2,467	1	,116	2,613
FABRICAS_INTELIGENTES	,436	,335	1,693	1	,193	1,546
FIM_OPs	,224	,307	,534	1	,465	1,251
FORMA_PROG	-,699	,444	2,476	1	,116	,497
IDRF	-,220	,226	,946	1	,331	,803
POSSUI_IDRF	,889	,651	1,865	1	,172	2,432
PORTE	1,403	,803	3,049	1	,081	4,066
Constante	-1,449	1,189	1,485	1	,223	,235

Fonte: O autor (2022)

Na análise geral, o modelo contendo o “SCFP” foi significativo, pois conforme Quadro 9 o Qui-quadrado apresentado é de 15,131 com 7 graus de liberdade, significância (p) menor que 0,05 e o R<sup>2</sup> Nagelkerke igual a 0,303, sendo expresso como:

$$[X^2_{(7)} = 15,131 ; p < 0,05, R^2_{\text{Nagelkerke}} = 0,303].$$

A equação que descreve essa relação é:

$$P(\text{SCFP}) = \frac{1}{1 + e^{(-1,449 + 0,96EO + 0,436FI + 0,224FO - 0,699FP - 0,220IDRF + 0,889PR + 1,403P)}} \quad (\text{eq.3})$$

EO = EMISSÃO\_OPs  
 FI = FABRICAS\_INTELIGENTES  
 FO = FIM\_OPs  
 FP = FORMA\_PROG  
 IDRF  
 PR = POSSUI\_IDRF  
 P = PORTE

Sendo assim, o modelo matemático dará uma estimativa probabilística de classificação de adaptabilidade da empresa quanto à implantação do SCFP através da substituição dos valores de resposta nas variáveis da equação. A aplicação da equação se daria substituindo novas respostas categóricas do instrumento de pesquisa *survey* seria tendendo a 0 ou a 1, ou seja, está adaptado ou não a aplicação de um SCFP.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A competição do mercado de trabalho, conforme abordado na fundamentação teórica, tem forçado as empresas e elevar o seu nível de competitividade a níveis cada vez mais altos, e uma das áreas extremamente essenciais nesta dinâmica é a área de manufatura. Este trabalho teve como objetivo diagnosticar a aplicação de Sistema Ciberfísico de Produção (SCFP) da Indústria 4.0 na indústria Têxtil e Vestuário e teve como foco a área de planejamento da manufatura. Este departamento da empresa, segundo Junior *et al.* (2015) é responsável pelas atividades informacionais na fabricação de produtos e de acordo com Lee *et al.* (2014), estabelecer uma manufatura inteligente requer a disponibilidade de dados cada vez mais ágil e confiável por meio da digitalização do chão de fábrica.

A indústria Têxtil e Vestuário é bastante extensa e complexa e de acordo com Stefani (2015), há um fluxo muito grande de informações que circula pela empresa, e segundo Mantravadi e Møller (2019) o controle do processo de fabricação tem um alto nível de especialização. Para que estas informações possam estar disponíveis de forma útil, segundo Shen *et al.* (2016) as empresas tem investido nas TIC de modo a gerenciar melhor suas operações. O resultado deste trabalho traz uma perspectiva voltada as empresas do setor Têxtil e Vestuário no monitoramento de dados de produção por meio da revisão de literatura e da pesquisa *survey*, que foi abordada na discussão dos resultados.

Na visão de Witsch e Vogel-Heuser (2012), as informações fluem no sentido vertical dentro da empresa, de modo a prover capacidades e atributos inteligentes ao PCP. Segundo Bueno *et al.* (2020) e Lee *et al.* (2014), a aplicação de um sistema autoconsciente na implantação de um SCFP, que é capaz de sugerir arranjos, tarefas e o auto ajuste de parâmetros operacionais, traz inúmeras vantagens como maximizar a produtividade e a qualidade do produto.

Embora a plenitude de aplicação de sistemas de autoaprendizagem de acordo com Lee *et al.* (2014) estarem longe de serem implantados, e segundo Andronie *et al.* (2021) a aplicação de SCF nas indústrias brasileira estarem muito no começo é possível classificar esta evolução de adaptação, conforme Kim (2017), dentro de um modelo de maturidade.

Assim, respondendo a questão de pesquisa: Como o setor têxtil e de vestuário está se adaptando ao uso das tecnologias voltadas para Sistemas Ciber-Físicos de

produção, segue os objetivos específicos atendidos. O primeiro objetivo específico de identificar na literatura a aplicação de Sistemas Ciber-Físicos, foi realizada a busca nos bancos de dados para trazer alguns cases de aplicação de SCF dentro da indústria Têxtil e Vestuário. Identificou-se cases nas mais variadas etapas da longa cadeia produtiva têxtil, partindo-se inicialmente do processo de fiação, em que houve o controle de qualidade do fio em tempo real, integração de Identificação por Rádio Frequência (IDRF) com o Sistemas de Execução de Manufatura (SEM) até interconexões de máquinas de forma mais segura. Essas aplicações apresentaram resultados como a melhor tomada de decisão para a redução de inatividade do processo, diminuição das perdas, ajustes rápidos do plano de produção além de aumentar a eficiência produtiva.

Na área de tecelagem a aplicação de SCF para identificação de defeitos de tecido e aplicação de um SCFP para o auto otimização de parâmetros de tecelagem, trazendo maior convergência de dados entre planejamento e fabricação além de redução de tempos de *set up*. No tingimento, o SCF ajudou na melhora dos processos de sequenciamento das Ordens de Produção (OPs) e na otimização dos parâmetros de configuração de operação. Essa aplicação trouxe redução nos tempos de *set up*, consumo de energia elétrica e melhoria nas tomadas de decisão.

Outra etapa do processo que foi possível identificar a utilização de SCF foi a área de confecção, em que foi possível monitorar o estoque em tempo real, otimização do processo de enfiar e corte, o registro de apontamento das OPs no Sistema Integrado de Gestão Empresarial (SIGE) por meio de código de barras, criação de uma fábrica virtual por meio de uso de IDRF em processos realizados em terceiros e identificação de defeitos de costura em tempo real. Assim, os resultados foram a redução do desperdício de tecido, digitalização e disponibilização das informações com maior rapidez, rastreamento dos lotes de produção e melhora no controle de qualidade do produto final. Além disso, as pesquisas de Imran *et al.* (2018) e Chen (2019) mostraram a importância que a aplicação de SCF tem auxiliado as empresas têxteis na tomada de decisão cada vez mais eficientes.

Embora alguns autores citam que a Indústria 4.0 seja algo distante das indústrias atuais, principalmente as do segmento têxtil, pôde-se observar a aplicação de SCF em alguns setores dentro das indústrias nos cases extraídos da revisão da literatura. Segundo o modelo de maturidade proposto por Kim (2017), os cases apresentados demonstram o processamento e interconexão das informações

classificando os processos entre o terceiro e quarto nível em que, aumenta a compreensão do processo melhorando a tomada de decisão.

Buscando atender o segundo e terceiro objetivo específico, o resultado da pesquisa *survey* trouxe algumas informações referentes as indústrias Têxteis e Vestuário de Santa Catarina, em que a amostragem de 61 empresas demonstram um pouco da realidade do segmento no momento. Foi possível identificar que os respondentes tem na sua maioria bastante *know how* na área de planejamento da manufatura, pois o tempo de experiência e o grau de instrução relatados demonstram isso, o que traz credibilidade nas informações coletadas.

Na questão das etapas de fabricação realizadas pelos respondentes, identificou-se que todos os processos desde o início até o final de cadeia de produção estão presentes, o que traz uma boa visão do segmento Têxtil e Vestuário abrangidas neste trabalho. Além disso, constatou-se que mais da metade das empresas pesquisadas possuem um ou mais processos que são realizados de forma terceirizadas, e que no âmbito de uma empresa com o monitoramento de todos os seus processos dentro de um sistema SCFP, há a necessidade do rastreamento dos lotes de produção, tanto internamente e quanto mais os terceirizados. Entretanto aproximadamente 75% não utiliza IDRF e metade praticamente desconhece a tecnologia.

A gestão da informação que a área de planejamento utiliza, demonstra que metade usa o SIGE sempre, o que dificulta a acurácia no planejamento pelo fato de não usar um banco de dados integrado com os demais dados da empresa. Além disso, menos de 15% tem as Ordens de Produção de forma digitalizadas ou fazem a retroalimentação do sistema de forma automática. Outra questão é a utilização do Sistema Avançado de Programação (SAP) na Programação da Produção, sendo que apenas 25% podem fazer a programação levando em conta as restrições do processo produtivo e aproximadamente 35% segue a mesma forma de programação para toda a empresa. Este cenário reflete o que pode ser visto na questão do conhecimento sobre SCF ou SEM em que mais de 60% praticamente desconhece essas tecnologias.

Outro ponto observado é o monitoramento em tempo real do processo de fabricação, que é a base de um sistema SCFP, mostrando ser bastante deficiente, pois aproximadamente 25% das empresas possui o monitoramento em todas as etapas. O setor que mais aparece com o monitoramento em tempo real foi o beneficiamento, o que talvez justifique este percentual haja visto que algumas

empresas geralmente realizam somente este processo de fabricação. Entretanto há evidências de que as empresas aos poucos estão começando a implementar este monitoramento.

Deste monitoramento em tempo real observou-se que a maioria utiliza o sistema para acompanhamento da execução das OPs em tempo real, sendo a que grande parte está interligada com o SIGE e algumas disponibilizam os dados em nuvem, sendo que a maior vantagem da implantação é a geração de dados confiáveis o que vai de encontro com os requisitos de um sistema integrado verticalmente. Outro ponto observado foi a dificuldade de adaptação da empresa e o alto custo como as maiores dificuldades de implantação do sistema de monitoramento.

Das empresas que não possuem o monitoramento em tempo real, a maior parte não tem o interesse de investir, sendo que as maiores dificuldades são o alto custo de implantação principalmente para as empresas de médio ter que arcar com estes custos. Segundo Imran *et al.* (2018) a indústria 4.0 traz benefícios para gerentes na hora de traçar estratégias para melhorar o desempenho nas indústrias Têxteis e além de diminuir a alto custo da utilização da mão de obra. Entretanto, o gasto como mão de obra não foi representativo, mas sim o custo de financeiro do sistema e não saber lidar com os dados. Isto cenário reflete o desconhecimento apresentado sobre SCF, SEM e a Indústria 4.0.

De maneira geral, quase a metade dos respondentes indicou estar se adaptando a tecnologia, mas o desconhecimento das tecnologias, a não utilização das tecnologias ou o uso delas de forma não integrada demonstra que as empresas estão na verdade distantes de serem fábricas inteligentes. Embora o cenário mostre que as empresas não estão adaptadas, há algumas poucas empresas que podem ser usadas como estudos de casos, o que fica como sugestão de trabalhos futuros de explorar o quanto essas empresas estão adequadas à um sistema SCFP. Além disso, a maioria dos respondentes disseram nunca ter participado de pesquisas relacionadas a indústria 4.0. Neste sentido, segundo os dados analisados provenientes da pesquisa *survey*, é possível classificar as indústrias Têxteis e Vestuário de Santa Catarina no segundo e terceiro nível no modelo de maturidade de acordo com Kim (2017), em que neste nível há a geração e processamento de informações somente.

E para finalizar, atendendo ao quarto e último objetivo específico, o desenvolvimento da equação de regressão logística permite classificar se as empresas estão mais próximas de estarem adaptadas ou não à um sistema SCFP de

acordo com as tecnologias implantadas e o uso das mesmas. O modelo previsor gerado pelo SPSS mostrou-se satisfatório com 75,4% de acertos de acordo com as variáveis propostas no modelo de regressão logística binária.

## 5.1 LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho, somente a cadeia produtiva da Indústria Têxtil e do Vestuário será investigada, os segmentos voltados aos tecidos não tecidos e outras aplicações têxteis não entraram neste trabalho de pesquisa. O tamanho das empresas de micro e pequeno porte não estão contempladas nesta pesquisa, o que seria um estudo mais ampliado da realidade deste segmento.

As empresas pesquisadas neste trabalho foram somente as empresas do estado de Santa Catarina, isso reflete uma pequena parte restando ainda outros 25 estados da federação brasileira. Além disso, por questão de tempo hábil, o questionário ficou aberto por um tempo limitado, o que talvez com um período maior para a investigação conseguiria um maior número de respondentes, ficando como trabalho futuro abordar novamente estas empresas que não retornaram a pesquisa.

Esta pesquisa abordou as empresas somente através do instrumento de pesquisa tipo “survey”, o que por questão de limitação, não traz com profundidade a rotina das empresas com algum grau de implantação do Sistema Ciberfísico de Produção. Assim, ficando como sugestão, fazer estudos de caso com essas empresas de modo a exemplificar os benefícios atingidos, servindo como incentivo às demais empresas que ainda não estão se adaptando a Indústria 4.0.

Outra limitação é que o modelo matemático apresentado necessitaria mais respostas para uma melhor calibração, algumas revisões nas variáveis *a priori* assumidas e uma aplicação em um estudo de caso para validação do mesmo. Como o modelo de maturidade apresentado por (KIM, 2017) não traz como fazer está avaliação, fica a sugestão de melhorar o modelo proposto.

Desta maneira, este trabalho não pretende exaurir todos os cenários dentro das indústrias Têxteis e Vestuário, mas traz alguns parâmetros que poderão ser estudados de maneira mais aprofundada em trabalhos futuros em outras empresas.

## REFERÊNCIAS

ABIT. **Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção**. Disponível em: <<https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>. Acesso em: 4 abr. 2022.

ADDO-TENKORANG, R.; HELO, P. Enterprise Resource Planning (ERP): A Review Literature Report. **Lecture Notes in Engineering and Computer Science VO - 2194**, v. II, n. 1, p. 1126, 2012.

ALLAOUI, H.; GUO, Y.; SARKIS, J. Decision support for collaboration planning in sustainable supply chains. **Journal of Cleaner Production**, v. 229, p. 761–774, 2019.

ANDRONIE, M. et al. Sustainable, smart, and sensing technologies for cyber-physical manufacturing systems: A systematic literature review. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 10, 2021.

AUNE, A. **Human Smart Cities – O cenário brasileiro e a importância da abordagem joined-up na definição de Cidade Inteligente**. [s.l.] Pontifícia Universidade Católica - PUC, 2017.

BABAEI, M.; GHOLAMI, Z.; ALTAFI, S. Challenges of Enterprise Resource Planning implementation in Iran large organizations. **Information Systems**, v. 54, p. 15–27, 2015.

BARRETO, B. P.; PONTES, J.; TREINTA, F. T. A Educação 4.0 aplicada à Engenharia de Produção e as principais temáticas de pesquisa: uma análise de conteúdo a partir da revisão de literatura. 2019.

BEYERS, FELIX; HEINRICHS, H. Global partnerships for a textile transformation? A systematic literature review on inter-and transnational collaborative governance of the textile and clothing industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 261, p. 121–131, 2020.

BITTENCOURT, H. R. Regressão logística politômica : revisão teórica e aplicações. **Acta Scientiae**, v. 5, n. 1, p. 77–86, 2003.

BUENO, A.; GODINHO FILHO, M.; FRANK, A. G. Smart production planning and control in the Industry 4.0 context: A systematic literature review. **Computers and Industrial Engineering**, v. 149, n. August, p. 106774, 2020.

CARVALHO, E. DOS S. DE S.; FILHO, N. F. D. Proposal for a mobile learning system focusing on the characteristics and applications practical of industry 4.0. **RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao**, v. 2018, n. 27, p. 36–51, 2018.

CAUCHICK, P. A. et al. **Metodologia Científica para Engenharia**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

CAVALCANTI, L. DE L.; NOGUEIRA, M. DE S. **Futurismo, Inovação e Logística 4.0: desafios e oportunidades**. ConBRepro. **Anais...**Ponta Grossa: VII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, 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**, v. 22, n. 2, p. 120–145, 2019.

CHEN, H. Applications of Cyber-Physical System: A Literature Review. **Journal of Industrial Integration and Management**, v. 02, n. 03, p. 1750012, 2017.

CHEN, K.; JI, P. A mixed integer programming model for advanced planning and scheduling (SAP). **European Journal of Operational Research**, v. 181, n. 1, p. 515–522, 2007.

CLOPPENBURG, F. et al. Industry 4.0 - How will the nonwoven production of tomorrow look like? **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 254, n. 13, p. 0–4, 2017.

CNI/SENAI/SESI/IEL. **Perfil Setorial da Indústria**. Disponível em: <<https://perfilsetorialdaindustria.portaldaindustria.com.br/listar/14-vestuario-e-acessorios/producao>>. Acesso em: 3 abr. 2022.

CNI. Desafios para indústria 4.0 no Brasil. **Confederação Nacional da Indústria**, n. INDUSTRIA 4.0, p. 34, 2016.

COHEN, L.; MANION, L.; MORRISON, K. **Research Methods in Education**. 5. ed. London: RoutledgeFalmer, 2000. v. 86

CORONADO, P. D. U. et al. Part data integration in the Shop Floor Digital Twin: Mobile and cloud technologies to enable a manufacturing execution system. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 48, p. 25–33, 2018.

CORRAR, L. J. et al. **Análise multivariada para os cursos de administração, ciências contábeis e economia**. São Paulo: Atlas, 2007.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA., C. A. **Administração de produção e operações**. Rio de Janeiro: Atlas, 2017.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M. **Planejamento, programação e controle da produção: MRP II / ERP, conceitos, uso e implantação**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

COSTA, C. F. M. DA S. **BASIS: a Big Data Architecture for Smart Cities**. [s.l.] Universidade do Minho, 2015.

EINSIEDLER, I. Embedded-Systeme für Industrie 4.0. **Product. Manag**, v. v.18, p. 26–28, 2013.

ELLIOTT, R. **Manufacturing Execution System (MES) An Examination of Implementation Strategy**. [s.l.] Faculty of California Polytechnic State University - San Luis Obispo, 2013.

ESTEVANIM, M. **Processos no jornalismo digital do Big Data à visualização de dados**. [s.l.] Universidade de São Paulo - USP, 2016.

FAROOQ, B. et al. Data-Driven Predictive Maintenance Approach for Spinning Cyber-Physical Production System. **Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)**, v. 25, n. 4, p. 453–462, 2020.

FIGUEIRA, C. V. **Modelos De Regressão Logística**. [s.l.] UFRGS, 2006.

FORZA, C. Survey research in operations management: A process-based perspective. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 22, n. 2, p. 152–194, 2002.

FRANCHON, A. M. **A inclusão digital como estratégia e política de gestão de relações públicas em organizações privadas**. [s.l.] Universidade de São Paulo - USP, 2009.

FRANCO, Z. M.; OIAN, C. A. **Sinergia entre Lean Manufacturing e Indústria 4.0 no contexto de século XXIX** Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, , 2019.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GOLDENBERG, M. **A arte de pesquisar: como fazer pesquisa qualitativa em ciências sociais**. Rio de Janeiro: Record, 1997.

GOMES, J. DE O. **Manufatura Verde Amarela**. UNIMEP. **Anais...**Piracicaba: 21º Seminário Internacional de Alta Tecnologia, 2016.

GONÇALVES, E. B. et al. Análise de risco de crédito com o uso de regressão logística. **Revista Contemporânea de Contabilidade**, v. 10, n. 20, p. 139–160, 2013.

HA, L. T.; MARQUES, A. D.; FERREIRA, F. How Industry 4.0 concepts are applied in the Portuguese clothing industry: Some evidences. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 459, n. 1, p. 0–6, 2018.

HA, L. U. U.; FERREIRA, F.; MARQUES, A. Digitisation and industry 4.0 in the Portuguese T&C sector. **Industria Textila**, v. 70, n. 4, p. 342–345, 2019.

HE, J. F. Cyber-physical systems,” Commun. China Comput. **Feder**, v. 6, n. 1, p. 25–29, 2010.

HELPER, D. G. et al. Nível de maturidade para indústria 4.0: Um estudo de caso em empresa de parafusos / Maturity level for industry 4.0: A case study in a screw company. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 11, p. 102801–102818, 2021.

HOFMANN, E.; RÜSCH, M. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. **Computers in Industry**, v. 89, p. 23–34, 2017.

HUA, J.; LIANG, T.; LEI, Z. Study and design real-time manufacturing execution system based on RFID. **Proceedings - 2008 2nd International Symposium on Intelligent Information Technology Application, IITA 2008**, v. 1, p. 591–594, 2008.

HUANG, H.; HU, S.; SUN, Y. **Energy-Efficient ECG Signal Compression for User Data Input in Cyber-Physical Systems by Leveraging Empirical Mode Decomposition** Association for Computing Machinery, 2019.

HVOLBY, H. H.; STEGER-JENSEN, K. Technical and industrial issues of Advanced Planning and Scheduling (APS) systems. **Computers in Industry**, v. 61, n. 9, p. 845–851, 2010.

IMRAN, M.; HAMEED, W. UL; HAQUE, A. UL. 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, 2018.

JEON, B. W. et al. An architecture design for smart manufacturing execution system. **Computer-Aided Design and Applications**, v. 14, n. 4, p. 472–485, 2017.

JIA, F. ET AL. The circular economy in the textile and apparel industry: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 259, p. 720–728, 2020.

JIANG, Y.; YIN, S.; KAYNAK, O. Data-driven monitoring and safety control of industrial cyber-physical systems: Basics and beyond. **IEEE Access**, v. 6, n. c, p. 47374–47384, 2018.

JUNG, W. K. et al. Appropriate Smart Factory for SMEs: Concept, Application and Perspective. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing**, v. 22, n. 1, p. 201–215, 2021.

JUNIOR, O. C. et al. Tecnologias emergentes aplicáveis ao varejo. **Bndes**, p. 131–166, 2015.

KAGERMANN; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. **Final report of the Industrie 4.0 WG**, n. April, 2013.

KIM, J. H. A Review of Cyber-Physical System Research Relevant to the Emerging IT Trends: Industry 4.0, IoT, Big Data, and Cloud Computing. **Journal of Industrial Integration and Management**, v. 02, n. 03, p. 1750011, 2017.

KIPPER, L. M. et al. Scopus scientific mapping production in industry 4.0 (2011–2018): a bibliometric analysis. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 6, p. 1605–1627, 2020.

KU, C. C.; CHIEN, C. F.; MA, K. T. Digital transformation to empower smart production for Industry 3.5 and an empirical study for textile dyeing. **Computers and Industrial Engineering**, v. 142, n. January, p. 106297, 2020.

KUMAR, V. et al. Contribution of traceability towards attaining sustainability in the textile sector. **Textiles and Clothing Sustainability**, v. 3, n. 1, 2017.

LAVILLE, C.; DIONNE, J. **A construção do saber: manual de metodologia da pesquisa em ciências humanas**. Belo Horizonte: ARTMED, 1999.

LEE, E. A. Computing Foundations and Practice for Cyber- Physical Systems : A Preliminary Report. **Electrical Engineering**, n. UCB/EECS-2007-72, p. 1–27, 2007.

LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H. A. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing Letters**, v. 3, p. 18–23, 2015.

LEE, J.; KAO, H. A.; YANG, S. Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment. **Procedia CIRP**, v. 16, p. 3–8, 2014.

LEVIN, J. **Estatística aplicada à ciências humanas**. 2. ed. São Paulo: Harbra, 1987.

LIMA JUNIOR, W. T. **Jornalismo computacional em função da “Era do Big Data”**. LÍBERO. **Anais...**Rio de Janeiro: 9º. Encontro Nacional de Pesquisadores em Jornalismo, 2011.

LIU, Y. et al. Review on cyber-physical systems. **IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica**, v. 4, n. 1, p. 27–40, 2017.

LU, Y. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 6, p. 1–10, 2017.

MANGLANI, H.; HODGE, G. L.; OXENHAM, W. Application of the Internet of Things in the textile industry. **Textile Progress**, v. 51, n. 3, p. 225–297, 2019.

MANICKAM, P.; KUMAR, A. Industry 4 . 0 : evolution of manufacturing industry techniques from handcraft to cyber physical. **Journal of Analysis and Computation**, p. 1–6, 2020.

MANTRAVADI, S.; MØLLER, C. An overview of next-generation manufacturing execution systems: How important is MES for industry 4.0? **Procedia Manufacturing**, v. 30, p. 588–595, 2019.

MARCOLINO, T. Q.; MIZUKAMI, M. D. G. N. Narratives, reflective processes and professional practice: Contributions towards research and training. **Interface - Comunicação, Saúde, Educação**, v. 12, n. 26, p. 541–547, 2008.

MARCONI, M. DE A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa :planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

MASOOD, T.; SONNTAG, P. Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs. **Computers in Industry**, v. 121, p. 103261, 2020.

MATTAR, F. N. **Pesquisa de marketing :edição compacta**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

MAZZAFERRO, J. A. E. Indústria 4.0 e a qualidade da informação. **Soldagem e Inspecao**, v. 23, n. 1, p. 1–2, 2018.

MINUSSI, J. A.; DAMACENA, C.; NESS JR, W. L. Um modelo de previsão de solvência utilizando regressão logística. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 6, n. 3, p. 109–128, 2002.

MOHER, D. ET AL. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **Annals of internal medicine**, v. 151, n. 4, p. 264–269, 2009.

MORAES, A. M. DE; FONSECA, J. J. S. DA. **Metodologia da pesquisa científica**. 1. ed. Sobral: INTA, 2017.

NAEDELE, M. et al. Manufacturing execution systems: A vision for managing software development. **Journal of Systems and Software**, v. 101, p. 59–68, 2015.

NG, I. C. L.; WAKENSHAW, S. Y. L. The Internet-of-Things: Review and research directions. **International Journal of Research in Marketing**, v. 34, n. 1, p. 3–21, 2017.

NORD, J. H.; KOOHANG, A.; PALISZKIEWICZ, J. The Internet of Things: Review and theoretical framework. **Expert Systems with Applications**, v. 133, p. 97–108, 2019.

ÖZTÜRK, C.; ORNEK, A. M. Operational extended model formulations for Advanced Planning and Scheduling systems. **Applied Mathematical Modelling**, v. 38, n. 1, p. 181–195, 2014.

PARK, K. T. et al. Cyber Physical Energy System for Saving Energy of the Dyeing Process with Industrial Internet of Things and Manufacturing Big Data. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology**, v. 7, n. 1, p. 219–238, 2020.

PETRI, R. F. et al. Estimativa de benefícios na implementação de projeto de automação da etiquetagem de embalagens na indústria têxtil. **The Academic Society Journal**, v. 5, n. March, p. 29–44, 2021a.

PETRI, R. F. et al. Uma análise das publicações no SIMPEP sobre indicadores da manufatura enxuta e a indústria 4.0 no segmento têxtil. In: FILHO, P. M. DE A. (Ed.). **ENGENHARIA 4.0: A era da produção inteligente**. São Luís: Editora Pascal, 2021b. v. 5p. 385–399.

PIONTEK, FELIX M.; MÜLLER, M. Literature reviews: Life cycle assessment in the context of product-service systems and the textile industry. **Procedia CIRP**, v. 69, p. 758–763, 2018.

RAJKUMAR, R. A cyber-physical future. **Proceedings of the IEEE**, v. 100, n. SPL CONTENT, p. 1309–1312, 2012.

SACOMANO, J. B. et al. **Indústria 4.0: conceitos e fundamentos**. 1ª edição ed. São Paulo: Blucher, 2018.

SADIKU, M. N. O. et al. Cyber-Physical Systems: A Literature Review. **European Scientific Journal, ESJ**, v. 13, n. 36, p. 52, 2017.

SAGGIOMO, M. et al. Weaving machine as cyber-physical production system: Multi-objective self-optimization of the weaving process. **Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology**, v. 2016- May, p. 2084–2089, 2016.

SAKURAI, R.; ZUCHI, J. D. Revoluções Industriais Até a Indústria 4.0. **Revista Interface Tecnológica**, v. 15, n. 2, p. 480–491, 2018.

SANDIN, G.; PETERS, G. M. Environmental impact of textile reuse and recycling – A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 184, p. 353–365, 2018.

SANTOS, B. Indústria 4.0: desafios e oportunidades. n. January, 2018.

SANTOS, B. P. et al. Indústria 4.0: Desafios e Oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, p. 13, 2018.

SANTOS, A. R. DOS. **Metodologia científica: a construção do conhecimento**. 7. ed. Rio de Janeiro: Lamparina, 2007.

SCHWAB, K. **A quarta Revolução Industrial**. 1ª edição ed. São Paulo: Edipro, 2019.

SCHWARZ, I.; KOVAČEVIĆ, S. Textile Application: From Need to Imagination. In: **Textiles for Advanced Applications**. London: IntechOpen, 2017. p. 3–28.

SHAO, J. et al. Design of textile manufacturing execution system based on Big Data. **Journal Of Mechanical Engineering**, v. 51, n. 5, p. 160–170, 2015.

SHEN, Y. C.; CHEN, P. S.; WANG, C. H. A study of enterprise resource planning (ERP) system performance measurement using the quantitative balanced scorecard approach. **Computers in Industry**, v. 75, p. 127–139, 2016.

ŚLUSARCZYK, B.; HASEEB, M.; HUSSAIN, H. I. Fourth industrial revolution: A way forward to attain better performance in the textile industry. **Engineering Management in Production and Services**, v. 11, n. 2, p. 52–69, 2019.

SOARES, M. G. **A Quarta Revolução Industrial e seus possíveis efeitos no direito, economia e política**. [s.l.] Universidade Autônoma de Lisboa, 2018.

SONG, Z. et al. **Optimal observation for cyber-physical systems: a fisher-information-matrix-based approach**. 1. ed. London: Springer-Verlag, 2009.

SOUSA, T. B. DE et al. An overview of the advanced planning and scheduling systems. **Independent Journal of Management & Production**, v. 5, n. 4, p. 1032–1049, 2014.

SOUZA, K. D. L. et al. Desenvolvimento De Um Sistema De Execução De Manufatura (Mes) No Planejamento E Controle De Produção: Uma Aplicação Da Indústria 4.0 No Processo De Fabricação De Tubos De Aço. **Produto & Produção**, v. 22, n. 1, p. 25–44, 2021.

STEFANI, A. G. M. **A conversação em rede comunicação mediada pelo computador e redes sociais na Internet**. [s.l.] Universidade de São Paulo - USP, 2015.

UGARTE, B. S. DE; ARTIBA, A.; PELLERIN, R. Manufacturing execution system - A literature review. **Production Planning and Control**, v. 20, n. 6, p. 525–539, 2009.

VANÝSEK, P. **Industry 4.0**. [s.l.] Electrochemical Society Interface, 2016.

VYATKIN, V. et al. Now Thats Smart. **Industrial Electronics**, 2007.

WANG, C. et al. RFID Based manufacturing process of cloud MES. **Future Internet**, v. 10, n. 11, p. 1–11, 2018.

WANG, J.; CAI, Z.; YU, J. Achieving Personalized k-Anonymity-Based Content Privacy for Autonomous Vehicles in CPS. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 16, n. 6, p. 4242–4251, 2020.

WANG, L. C. et al. Framework and deployment of a cloud-based advanced planning and scheduling system. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 70, n. December 2020, p. 102088, 2021.

WITSCH, M.; VOGEL-HEUSER, B. Towards a formal specification framework for manufacturing execution systems. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 8, n. 2, p. 311–320, 2012.

YIN, S. et al. M2M security technology of CPS based on blockchains. **Symmetry**, v. 9, n. 9, 2017.

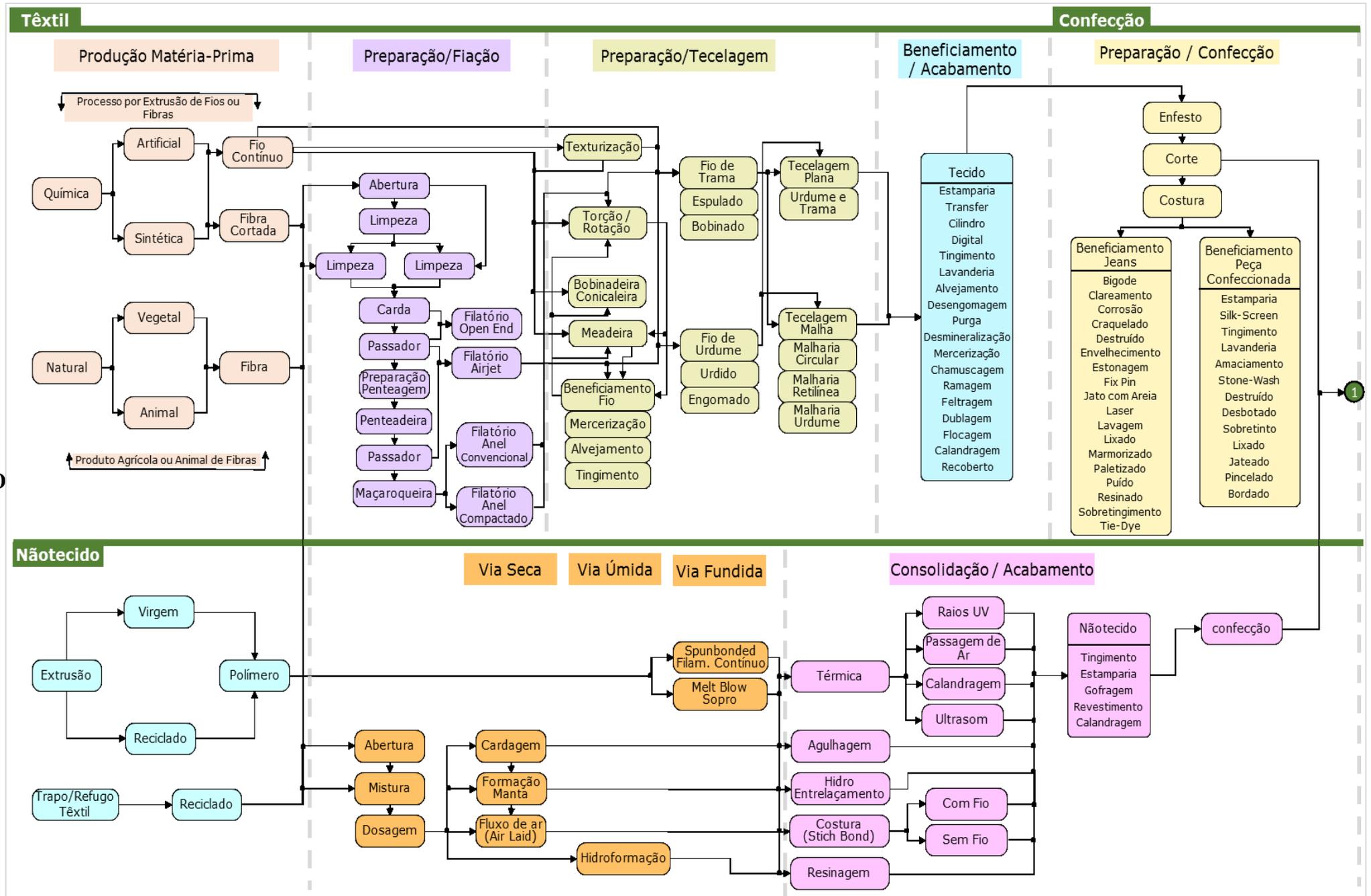
YIN, S. et al. Real-time task processing for spinning cyber-physical production systems based on edge computing. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 31, n. 8, p. 2069–2087, 2020.

YUE, L. et al. Building a reference model for a Manufacturing Execution System (MES) platform in an Industry 4.0 context. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1345, n. 6, p. 0–7, 2019.

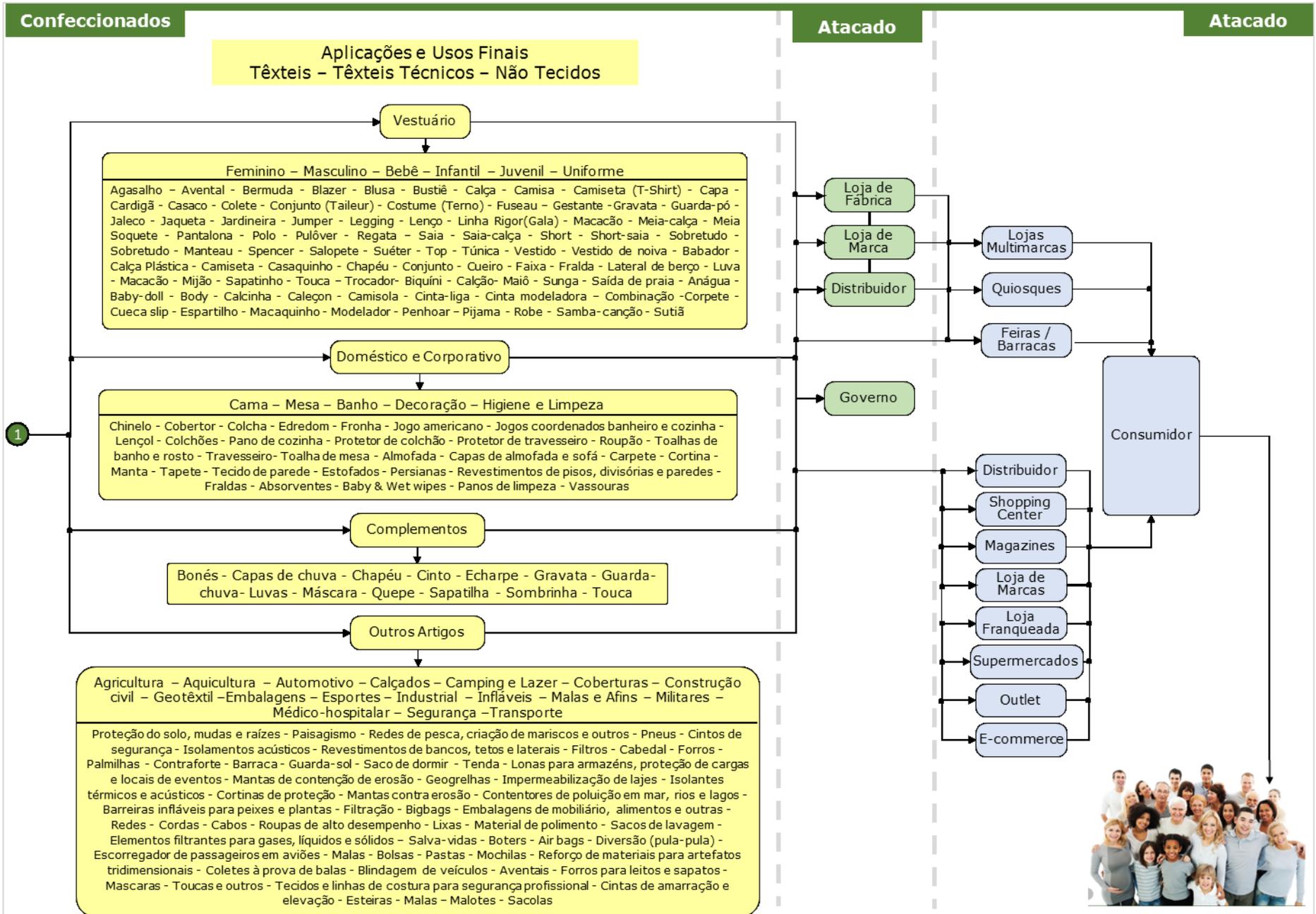
ZHUANG, C.; LIU, J.; XIONG, H. Digital twin-based smart production management and control framework for the complex product assembly shop-floor. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 96, n. 1–4, p. 1149–1163, 2018.

ZUKIN, M.; DALCOL, P. R. T. Um estudo empírico sobre a correlação entre automação flexível e flexibilidade de manufatura. **Production**, v. 10, n. 2, p. 21–30, 2000.

ANEXO



O diagrama foi extraído do endereço: [http://www.textilia.net/\\_images/Fluxo.pdf](http://www.textilia.net/_images/Fluxo.pdf)



ANEXO B

## APÊNDICE A

**Este questionário foi elaborado para diagnosticar o nível de da implantação de Sistemas Ciber-Físicos nas indústrias têxteis e vestuário do estado de santa Catarina. Este instrumento de pesquisa é parte integrante do trabalho de dissertação do programa de mestrado de engenharia têxtil pela Universidade Federal de Santa Catarina.**

A empresa concorda em responder as perguntas desta pesquisa e autoriza a utilização das respostas para serem usados no tratamento de dados estatísticos, ciente de que em nenhum momento a empresa será identificada e nem dados de outros respondentes compartilhados?

- a) Sim, a empresa concorda com o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
- b) Não, a empresa desconcorda com o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

1 - Qual seu nome?

---

2 - Qual o nome da empresa que você trabalha?

---

3 - Qual sua Idade?

- a) Entre 20 e 30 anos
- b) Entre 31 e 40 anos
- c) Entre 41 e 50 anos
- d) Maior que 50 anos

4 - Qual seu grau de instrução?

- a) Ensino Fundamental
- b) Ensino Médio
- c) Ensino Superior
- d) Especialização / MBA
- e) Mestrado
- f) Doutorado

5 - Departamento da empresa em que você trabalha?

- a) Planejamento e Controle da Produção (PCP)
- b) Administração da Produção
- c) Outro: \_\_\_\_\_

6 - Qual o tempo de experiência no departamento PCP (Planejamento e Controle da Produção) ou Administração da Produção que você possui?

- a) Menos de 1 ano
- b) Entre 1 e 3 anos
- c) Entre 3 e 5 anos
- d) Entre 5 e 10 anos
- e) Entre 10 e 20 anos
- f) Mais que 20 anos

7 - Qual o tamanho da empresa em que você trabalha?

- a) Empresa de Médio Porte (De 100 a 499 empregados)
- b) Empresa de Grande Porte (500 ou mais empregados)

**Seção 2 - Informacional**

8 - Quais setores ligados a indústria têxtil ou vestuário a empresa possui internamente: (múltipla escolha)

- |  |                       |
|--|-----------------------|
| a) Sala de abertura/Cardagem             | g) Enfesto e corte    |
| b) Fiação                                | h) Estamparia         |
| c) Beneficiamento de Fio                 | i) Costura            |
| d) Urdideira                             | j) Acabamento/Bordado |
| e) Tecelagem                             | k) Embalagem          |
| f) Beneficiamento de tecido / Tinturaria | l) Outros: _____      |

9 - Quais setores ligados a indústria têxtil ou vestuário a empresa terceiriza dentro do seu fluxo de processo (não considere a fase realizada pelo fornecedor da matéria prima de entrada): (múltipla escolha)

- |  |                       |
|--|-----------------------|
| a) Beneficiamento de Fio                 | f) Costura            |
| b) Tecelagem                             | g) Acabamento/Bordado |
| c) Beneficiamento de tecido / Tinturaria | h) Embalagem          |
| d) Enfesto e corte                       | i) Outros: _____      |
| e) Estamparia                            | j) Nenhum             |

10 - A empresa utiliza o Sistema Integrado de Gestão Empresarial (SIGE) para planejar a disponibilidade de matéria prima e estoques intermediários ou o planejamento de capacidade fabril?

- a) Não utiliza porque não tem SIGE
- b) Não utiliza, mas possui o SIGE
- c) Utiliza o SIGE algumas vezes
- d) Utiliza o SIGE na maior parte das vezes
- e) Utiliza o SIGE sempre

11 - As emissões de Ordens de Produção para a "fábrica" são feitas da qual forma?

- a) Não emite Ordem de Produção física, é passado instrução verbalmente
- b) A Ordem de Produção é uma ficha ou formulário em papel
- c) A Ordem de Produção é digitalizada disponibilizada num computador com a inserção de dados pelo teclado ou código de barras.
- d) A Ordem de Produção vai direto para máquina acoplada de forma automática assim que programada pelo PCP (Planejamento e Controle da Produção)
- e) Outro: \_\_\_\_\_

**Seção 3 – Ordem de Produção**

12 - As Ordens de Produção após finalizadas, são utilizadas para:

- a) Não são utilizadas, são descartadas
- b) São simplesmente arquivadas
- c) Alimentam algum relatório do tipo "Produzido X Realizado" ou outro acompanhamento de produtividade
- d) Alimentam o SIGE com o apontamento das Ordens de Produção
- e) Alimentam algum outro sistema com inserção de dados de forma manual
- f) Alimentam algum outro sistema por meio de coleta automática de dados

13 - A empresa utiliza para fazer a Programação da Produção o seguinte sistema:

- a) Não utiliza nenhum sistema informatizado
- b) A programação é feita utilizando o Software de Planilhas Excel
- c) A programação é feita por meio do SIGE
- d) A programação é feita por um software específico do tipo Sistema Avançado de Programação – SAP (*Advanced Planning and Scheduling*)
- e) Outra forma: \_\_\_\_\_

**APÊNDICE A****Seção 4 - Conhecimento**

14 - A forma de programação da Produção na “fábrica” é da seguinte forma:

- a) A programação da produção segue a mesma lógica para todos os processos/etapas fabris
- b) A programação da produção para alguns processos/etapas fabris são de uma forma e para outros processos/etapas fabris são de outra forma
- c) A programação da produção para cada um dos processos/etapas fabris tem uma forma diferente uma da outra
- d) Outro: \_\_\_\_\_

15 - Qual seu nível de conhecimento sobre a Indústria 4.0 ou “Fábricas Inteligentes”?

- a) Não conheço
- b) Conheço pouco, já ouvi falar
- c) Conheço razoavelmente, já li ou pesquisei literaturas a respeito
- d) Conheço bem, já participei de palestras que falavam a respeito
- e) Conheço muito, já tive contato ou trabalhei com a tecnologia

16 - O termo Sistema Ciber Físicos (*Cyber Physical System* – CPS) é conhecido?

- a) Não conheço
- b) Conheço pouco, já ouvi falar
- c) Conheço razoavelmente, já li ou pesquisei literaturas a respeito
- d) Conheço bem, já participei de palestras que falavam a respeito
- e) Conheço muito, já tive contato ou trabalhei com a tecnologia

17 - O termo Sistemas de Execução de Manufatura (*Manufacturing Execution System* - MES) é conhecido?

- a) Não conheço
- b) Conheço pouco, já ouvi falar
- c) Conheço razoavelmente, já li ou pesquisei literaturas a respeito
- d) Conheço bem, já participei de palestras que falavam a respeito
- e) Conheço muito, já tive contato ou trabalhei com a tecnologia

18 - O termo Identificação por Rádio Frequência (IDRF) é conhecido?

- a) Não conheço
- b) Conheço pouco, já ouvi falar
- c) Conheço razoavelmente, já li ou pesquisei literaturas a respeito
- d) Conheço bem, já participei de palestras que falavam a respeito
- e) Conheço muito, já tive contato ou trabalhei com a tecnologia

**Seção 5 – Uso IDRF**

19 - A empresa possui algum sistema de rastreamento de lotes de produção por IDRF - Identificar por Rádio Frequência?

- a) Não possui
- b) Possui para alguns processos
- c) Somente para processos realizados internamente
- d) Somente para processos realizados externamente (terceirização)

## APÊNDICE A

### Seção 6 – Possui monitoramento *on line*?

20 - A empresa tem algum sistema em que é feito o monitoramento do processo de fabricação em tempo real (*on line*)?

- a) Não possui
- b) Já teve tentativa de implantação, mas não atendeu as expectativas
- c) Em fase de implantação
- d) Implantado, mas em desuso
- e) Implantado em todos os processos
- f) Implantado em algum ou alguns processos específicos.

### Seção 7 – Quais setores implantados?

21 - Liste quais os setores em que o sistema de monitoramento *on line* foi implantado: (múltipla escolha)

- |  |                       |
|--|-----------------------|
| a) Sala de abertura/Cardagem             | g) Enfesto e corte    |
| b) Fiação                                | h) Estamparia         |
| c) Urdideira                             | i) Costura            |
| d) Tecelagem                             | j) Acabamento/Bordado |
| e) Beneficiamento de Fio                 | k) Embalagem          |
| f) Beneficiamento de tecido / Tinturaria | l) Outros: _____      |

### Seção 8 – não possui monitoramento *on line*

22 - Se a empresa NÃO possui nenhum sistema de monitoramento em tempo real, a empresa tem pretensão de investir?

- a) Não tem a intenção de investir.
- b) Sim. Tem a intenção a intenção de investir no próximo 1 ano.
- c) Sim. Tem a intenção a intenção de investir nos próximos 3 anos.
- d) Sim. Tem a intenção a intenção de investir nos próximos 5 anos.

23 - Se a empresa atualmente NÃO possui nenhum sistema de monitoramento em tempo real, os principais motivos são: (múltipla escolha)

- a) A mão de obra direta é muito barata e não compensa o investimento para a adaptação para uma "fábrica inteligente"
- b) A geração de dados excessivos sem o caminho claramente definido de como usá-los.
- c) Receio de disponibilizar os dados na nuvem quanto a questão da segurança das informações
- d) Questões sobre "quem é o proprietário das informações" coletadas pelo sistema de monitoramento *on line*.
- e) A falta de recursos físicos como infraestrutura de comunicação confiável, dispositivos de TI e conexões estáveis de banda larga de Internet.
- f) Não identifica ganhos que podem melhorar o processo produtivo ou obter ganhos financeiros
- g) O custo financeiro da implantação de sistemas de monitoramento *on line* no processo produtivo é muito alto
- h) A empresa desconhece sistemas de monitoramento em tempo real e suas aplicações
- i) Processos muito diferentes entre si o que dificulta a implementação de sistemas que atendam plenamente a necessidade da empresa
- j) Dificuldade dos operadores aderirem a utilização do sistema de monitoramento ou falta de aptidão com tecnologia.
- k) A empresa fornecedora do sistema tem uma assistência técnica ou atendimento pós venda ruim
- l) O sistema é muito difícil e complicado para configuração e parametrização
- m) Outro: \_\_\_\_\_

## APÊNDICE A

### Seção 9 – Possui sistema de monitoramento *on line*

24 - Se a empresa possui algum sistema de monitoramento do processo de fabricação em tempo real (*on line*), o sistema tem as seguintes características?

- a) Pode ser acessado SOMENTE da tela exclusiva do sistema de monitoramento
- b) Os dados estão disponibilizados na nuvem, acesso de qualquer dispositivo conectado à internet
- c) O sistema está interligado ao SIGE
- d) O sistema tem uma representação virtual tal como é o sistema físico, ou seja, uma tela que tem a representação gráfica das operações apresentando a status em tempo real
- e) É possível alterar a programação de produção da máquina a distância.
- f) Outro: \_\_\_\_\_

25 - Se a empresa possui algum sistema de monitoramento do processo de fabricação em tempo real (*on line*), sua função é?

- a) Monitorar e acompanhar as Ordens de Produção em tempo real
- b) Monitorar a Qualidade do Produto em tempo real
- c) Monitorar as condições de estado de deterioração do equipamento – Manutenção Preditiva
- d) Outro: \_\_\_\_\_

26 - Se a empresa possui algum sistema de monitoramento do processo de fabricação em tempo real (*on line*), as maiores vantagens trazidas pelo sistema são: (múltipla escolha)

- a) Resposta mais ágeis para cenários de problemas no chão de fábrica
- b) Maior controle de rastreio de lotes no chão de fábrica
- c) Aumento da qualidade do produto/Diminuição de refugo
- d) Aumento produtividade / menor tempo de máquina parada
- e) Diminuição de *Lead Time* de fabricação do produto
- f) Diminuição de estoques
- g) Dados mais confiáveis para geração de relatórios ou monitoramento de resultados
- h) Outros: \_\_\_\_\_

27 - Se a empresa possui algum sistema de monitoramento do processo de fabricação em tempo real (*on line*), as maiores dificuldades para a implantação do sistema são: (múltipla escolha)

- a) O custo financeiro de implantação e manutenção dos sistemas
- b) A dificuldade de interligação deste sistema com outros sistemas, como o SIGE por exemplo
- c) A dificuldade de adaptação da mão de obra direta as mudanças tecnológicas
- d) A dificuldade de adaptação das áreas administrativas e gerenciais as mudanças tecnológicas
- e) A dificuldade de customização do sistema a realidade da empresa
- f) Falta de infraestrutura de comunicação confiável, dispositivos de TI e conexões estáveis de banda larga de Internet.
- g) Processos muito diferentes entre si o que dificulta a implementação de sistemas
- h) Outros: \_\_\_\_\_

28 – Como a empresa possui algum sistema de monitoramento do processo de fabricação em tempo real (*on line*), ela pode ser usada como empresa um estudo de caso para promover a implantação de sistemas de monitoramento em tempo real?

- a) Não pode ser usada
- b) Talvez possa ser usada
- c) Muito provavelmente possa ser usada
- d) Com certeza pode ser usada

**APÊNDICE A****Seção 10 - Finalização**

29 - Na sua opinião, a "Indústria 4.0" ou "Fabricas Inteligentes" voltadas para a indústria têxtil e vestuário pode ser considerado como?

- a) Algo distante da realidade atual
- b) Está em processo de conhecimento da tecnologia
- c) Está em processo de adaptação da tecnologia
- d) Está atrasada quanto a estas adaptações tecnológicas
- e) Outro: \_\_\_\_\_

30 - Você já havia respondido alguma pesquisa sobre a indústria 4.0 ou "fabrica inteligente" anteriormente?

- a) Sim
- b) Não

APÊNDICE B

Empresa	Empresa	Empresa
Altenburg	Grecco Confecções	Sancris Linhas E Fios
Appel Indústria Têxtil	Grupo Evanilda	Staack Tinturaria
Baumgarten Camisas	Grupo Kyly	Starkfest Ind. Do Vestuário Ltda
Beckhauser Malhas	Grupo Malwee	Tapajós Têxtil
BGO Textil	Hitech Etiquetas Ltda	Tecelagem Norte Catarinense
Bordados Vitória	Huvispan	Techprene Industria E Comercio Ltda
Brandili Têxtil	Incofios	Texdrini Ind. Têxtil
Cia Fabril Lepper	Industrial Acrilan Ltda	Texneo
Círculo SA	Industrial Irmãos Hort	Tinturaria Florisa
Confecções Dal Costa	K2 Indústria Do Vestuário	Toalhas Atlântica
Confecções Delucca	Latina Têxtil	Zanotti SA
Confecções Dila	Lunelli	
Confecções Puk	Malharia Caryma	
Cores E Tons	Malhas Menegotti	
Coteminas	Malhas Rico	
Cremer	Marisol	
Dalila Textil	Mcju Ind. Com. De Conf. Ltda	
Damenny	MH Tinturaria	
Damyller Têxtil	Multicolor Têxtil	
Daniela Tombini	NCA Textil Ltda	
Diklatex	Petersen Têxtil Ltda	
Dohler	RC. Conti	
Elian	Ricciari Confecções	
Estamparia Furtado	Rovitex	
Fiação São Bento S.A.	RVB Malhas	

OBS: O quadro de respostas não está relacionado na mesma sequência dos nomes das empresas respondentes de modo a não revelar os dados individuais de cada empresa.

Respondente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1 PORTE EMPRESAS RESPONDENTES	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1
2 UTILIZA O SIGE NO PLANEJAMENTO	2	3	3	4	4	1	4	4	4	4	3	4	4	1	0	4	4	1	4	3	0	4	4	4	4	0	4	1	1	4
3 FORMA DE EMISSÃO DAS OPs	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	3	1	1	1	2	2	2
4 FINALIZAÇÃO DAS OPs	3	3	3	2	5	1	5	4	3	3	3	2	3	1	2	2	3	2	3	3	1	3	3	3	3	1	2	0	5	5
5 SISTEMA DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO	1	1	2	2	3	3	3	1	2	2	1	3	3	1	3	1	2	1	2	1	3	2	2	2	1	1	2	0	1	2
6 FORMA DE PROGRAMAÇÃO PROCESSO	2	1	2	1	1	2	0	2	0	1	1	1	1	2	1	2	1	1	2	0	2	2	1	2	1	0	2	1	1	2
7 CONHECIMENTO SOBRE IDRF	3	4	3	4	1	4	2	1	4	2	3	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	1	3	4	1	0	4	0	1	2
8 POSSUI RASTREAMENTO LOTES POR IDRF	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
9 FABRICAS INTELIGENTES	2	2	1	1	1	2	2	1	1	0	2	2	2	0	1	2	2	0	2	1	2	3	1	3	3	0	2	0	1	1
10 FUNÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO ON LINE	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1

1 á 8 - Variáveis independentes

9 - Variável dependente

**LEGENDA**

1 - PORTE EMPRESAS RESPONDENTES

0 Médio

1 Grande

2 - UTILIZA O SIGE NO PLANEJAMENTO

0 Não tem SIGE

1 Não utiliza, mas tem SIGE

2 Utiliza algumas vezes

3 Utiliza na maior parte das vezes

4 Utiliza sempre

3 - FORMA DE EMISSÃO DAS OPs

0 Não emite

1 Em papel

2 Digitalizada

3 Automática

4 - FINALIZAÇÃO DAS OPs

0 Descartadas

1 Arquivadas

2 Relatório

3 Apontamento SIGE

4 Outro sistema - Manual

5 Outro sistema - Automático

5 - SISTEMA DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO

0 Não Informatizado

1 Planilha Excel

2 SIGE

3 SAP

6 - FORMA DE PROGRAMAÇÃO PROCESSO

0 Todos diferentes

1 Alguns diferentes

	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61
1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
2	4	0	4	3	4	4	4	4	2	2	0	3	4	4	0	4	2	4	3	2	3	4	3	4	3	4	1	1	0	0	3
3	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	2	3	1	1	1	1	3	3	1	1	1	2	1	2	1	1
4	3	2	3	3	3	3	3	1	2	2	3	2	3	3	1	3	5	2	4	3	1	2	3	1	1	3	3	3	0	0	3
5	0	1	1	2	2	2	2	2	3	3	2	3	2	2	3	2	3	2	1	2	3	2	2	3	2	2	2	3	1	1	1
6	2	0	2	2	1	1	2	1	0	0	2	1	1	2	0	1	0	0	1	2	0	0	2	1	1	2	1	1	1	2	1
7	2	3	0	2	2	3	1	0	1	0	3	4	0	2	0	0	0	2	0	1	0	0	0	3	4	2	3	3	4	0	3
8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	3	0	0	3	0	0
9	2	2	2	2	2	2	3	1	2	2	2	2	1	1	0	2	1	1	1	1	2	1	2	2	3	3	2	1	1	1	2
10	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

**LEGENDA**

7 - CONHECIMENTO SOBRE IDRF

- 0 Não conhece
- 1 Pouco
- 2 Razoável
- 3 Bom
- 4 Muito

8 - POSSUI RASTREAMENTO LOTES POR IDRF

- 0 Não Possui
- 1 Alguns processos
- 2 Processos Internos
- 3 Processos terceirizados

9 - FABRICAS INTELIGENTES

- 0 Algo distante
- 1 Conhecendo a tecnologia

10 - FUNÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO ON LINE

- 0 Sem função
- 1 Acompanhar OPs em tempo real/qualidade/Preditiva