

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE**  
**PRODUÇÃO**

**SISTEMATIZAÇÃO DOS REQUISITOS GERAIS PARA O**  
**DESENVOLVIMENTO DE *SOFTWARE* NA INDÚSTRIA 4.0**

**KAROLLAY GIULIANI DE OLIVEIRA VALÉRIO**

**Itajubá**

**2020**

**KAROLLAY GIULIANI DE OLIVEIRA VALÉRIO**

**SISTEMATIZAÇÃO DOS REQUISITOS GERAIS PARA O  
DESENVOLVIMENTO DE *SOFTWARE* NA INDÚSTRIA 4.0**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
de Produção como requisito parcial à obtenção do título de  
*Doutora em Ciências em Engenharia de Produção.*

*Orientador: Prof. Carlos Eduardo Sanches da Silva, Dr.*

*Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Sandra Miranda Neves, Dra.*

**Itajubá**

**2020**

*Aos pesquisadores e cientistas brasileiros,  
tempos melhores virão.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me iluminado em meu caminho, para que com êxito eu tenha chegado aqui.

À minha mãe Rosa, por todo o carinho e atenção comigo. A ela todo o meu amor e gratidão por ter sido minha fortaleza.

À minha família e aos meus amigos, parte importante para que eu me mantivesse firme na busca pelo meu objetivo maior.

Ao meu orientador Carlos Eduardo Sanches da Silva, que foi o primeiro a acreditar em meu potencial e me ajudar nesse caminho que iniciei. Serei sempre grata pela confiança e paciência.

À minha coorientadora Sandra Miranda Neves, pela dedicação e carinho que teve comigo durante todos esses anos de aprendizagem.

Aos demais professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da UNIFEI, pelas contribuições e pela atenção.

À FAPEMIG, CNPq e CAPES que financiaram o desenvolvimento deste trabalho por meio de bolsas de estudo.

*Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo  
para todo o propósito debaixo do céu.*

*Eclesiastes 3,1*

## RESUMO

A identificação e implementação das tecnologias e inovações, por meio do desenvolvimento de estratégias empresariais, são fatores que contribuem para o sucesso organizacional. Neste contexto, a indústria 4.0 pode contribuir para o desenvolvimento das indústrias que buscam pelo diferencial tecnológico e inovador. O objetivo desta pesquisa é desenvolver uma sistemática para o desenvolvimento de *software* na indústria 4.0. Por serem temas atuais e ligados à tecnologia e inovação, ainda são pouco desenvolvidos nos estudos acadêmicos. Por meio de uma revisão bibliográfica, utilizando técnicas de bibliometria e análise de conteúdo, identificaram-se os requisitos gerais do desenvolvimento de *software* na indústria 4.0, e para cada requisito, quais são os desafios, riscos, lacunas, vantagens e tendências. A sistemática passa por análises de especialistas acadêmicos, sendo considerada como teórica com as incorporações da prática. O método AHP foi utilizado para priorizar os requisitos, resultando na sistemática ajustada, tendo como elementos e pontuação relativa dos especialistas: análise de oportunidades 34,98%, eficiência operacional 2.0 19,41%, otimização do modelo de negócios 15,57%, tecnologia da informação 20,26%, integração de TI 12,29%, gerenciamento de segurança de TI 7,97%, novas interfaces e dados 17,93%, análise e gerenciamento de dados 6,90%, novo gerenciamento de propriedade intelectual 6,69%, aplicações baseadas em nuvem 4,34%, gestão integrada e inteligente 10,75%, cadeia de suprimentos inteligente 3,85%, gerenciamento do ciclo de vida 3,81%, logística inteligente 3,09%, mudança e aprendizagem 16,08%, negócio corporativo 9,33%, aprendizagem organizacional 6,75%. Entre os critérios, o requisito que obteve maior peso foi a análise de oportunidades e entre os subcritérios os de maior peso foram: eficiência operacional, otimização do modelo de negócios e integração de TI. Por fim, é aplicada uma análise de especialistas de empresas que desenvolvem *software* para entender como os requisitos são utilizados nessas empresas, chegando à sistemática final. A pesquisa por meio do AHP, mostrou a importância da análise de oportunidades e da eficiência operacional nas organizações, justificando que as empresas se preocupam em identificar as oportunidades de negócios e gerenciar os processos de forma eficiente. Esses resultados também mostraram a etapa de preparação da sistemática como a mais relevante. As entrevistas demonstraram a preocupação com a *cybersegurança* e as ferramentas de integração de TI, porém mostrou-se o *gap* em relação ao desenvolvimento da gestão integrada e inteligente, com destaque para a logística inteligente.

**Palavras-chave** Desenvolvimento de *software*, Indústria 4.0, Requisitos gerais, Sistematização, Modelagem.

## ABSTRACT

The identification and implementation of technologies and innovations, through the development of business strategies, are factors that contribute to organizational success. In this context, industry 4.0 can contribute to the development of industries that seek technological and innovative differentials. The objective of this research is to develop a system for software development in industry 4.0. Because they are current topics and linked to technology and innovation, they are still underdeveloped in academic studies. Through a bibliographic review, using bibliometrics and content analysis techniques, the general requirements for software development in industry 4.0 were identified, and for each requirement, what are the challenges, risks, gaps, advantages and trends. The systematic is analyzed by academic experts, being considered as theoretical with the incorporations of the practice. The AHP method was used to prioritize the requirements, resulting in the adjusted systematic, having as elements and relative score of the specialists: analysis of opportunities 34.98%, operational efficiency 2.0 19.41%, optimization of the business model 15.57%, information technology 20.26%, IT integration 12.29%, IT security management 7.97%, new interfaces and data 17.93%, data analysis and management 6.90%, new intellectual property management 6.69%, cloud-based applications 4.34%, integrated and intelligent management 10.75%, intelligent supply chain 3.85%, lifecycle management 3.81%, intelligent logistics 3.09%, change and learning 16.08%, corporate business 9.33%, organizational learning 6.75%. Among the criteria, the requirement that got the most weight was the analysis of opportunities and among the sub-criteria the ones with the highest weight were: operational efficiency, optimization of the business model and IT integration. Finally, an analysis by specialists from companies that develop software is applied to understand how the requirements are used in these companies, reaching the final system. The research through the AHP, showed the importance of analyzing opportunities and operational efficiency in organizations, justifying that companies are concerned with identifying business opportunities and managing processes efficiently. These results also showed the stage of preparing the system as the most relevant. The interviews demonstrated the concern with cybersecurity and IT integration tools, but the gap was shown in relation to the development of integrated and intelligent management, with emphasis on intelligent logistics.

**Keywords:** Software development, Industry 4.0, General requirements, Systematization, Modeling.

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1. Publicações por ano - Desenvolvimento de <i>software</i> na indústria 4.0.....	23
Figura 2. Evolução industrial até a indústria 4.0.....	26
Figura 3. <i>Clusters</i> - desenvolvimento de <i>software</i> na indústria 4.0 .....	32
Figura 4. Mapa mental .....	38
Figura 5. Requisitos gerais.....	45
Figura 6. Etapas da pesquisa .....	65
Figura 7. Sistemática fundamentada na teoria.....	76
Figura 8. Sistemática teórica com as incorporações da prática (análise dos especialistas).....	81
Figura 9. Exemplo de árvore de decomposição do método AHP.....	90
Figura 10. Estrutura inicial para priorização dos requisitos.....	96
Figura 11. Priorização de cada nó da sistemática ajustada.....	101
Figura 12. Análises de sensibilidade.....	102
Figura 13. Sistemática final.....	114

## LISTAS DE QUADROS

Quadro 1. Demandas do desenvolvimento de <i>software</i> na indústria 4.0.....	30
Quadro 2. Palavras chaves .....	31
Quadro 3. Tendências, seus autores e discussões.....	35
Quadro 4. Temas gerais, autores e discussões.....	36
Quadro 5. Classificação da pesquisa .....	63
Quadro 6. Análise de oportunidades .....	68
Quadro 7. Tecnologia da Informação.....	69
Quadro 8. Novas interfaces e dados .....	70
Quadro 9. Gestão integrada e inteligente .....	71
Quadro 10. Mudança e aprendizagem.....	72
Quadro 11. Descrição dos especialistas para teste piloto .....	78
Quadro 12. Descrição dos especialistas para adequação da sistemática .....	78
Quadro 13. Análise de oportunidades (Sistemática teórica com a incorporação da prática) .....	82
Quadro 14. Tecnologia da Informação (Sistemática teórica com a incorporação da prática).....	83
Quadro 15. Novas interfaces e dados (Sistemática teórica com a incorporação da prática) .....	84
Quadro 16. Gestão integrada e inteligente (Sistemática teórica com a incorporação da prática).....	85
Quadro 17. Mudança e aprendizagem (Sistemática teórica com a incorporação da prática).....	86
Quadro 18. Escala Fundamental.....	90
Quadro 19. Descrição dos especialistas para a aplicação do AHP.....	93
Quadro 20. Características dos especialistas das empresas.....	105
Quadro 21. Características dos especialistas que contribuíram na análise.....	106



## QUADROS DO APÊNDICE

Quadro A1. Artigos encontrados sobre o tema .....	124
Quadro B1. Trabalhos publicados em congressos e conferências sobre o tema .....	130
Quadro F1. Artigos publicados em periódicos internacionais.....	145
Quadro F2. Artigos em revisão em periódicos internacionais.....	145
Quadro F3. Artigos publicados em anais de congressos.....	145
Quadro G1. Ações e resultados esperados da eficiência operacional.....	146
Quadro G2. Ações e resultados esperados da otimização do modelo de negócios.....	147
Quadro G3. Ações e resultados esperados da integração de TI.....	147
Quadro G4. Ações e resultados esperados do gerenciamento de segurança de TI .....	148
Quadro G5. Ações e resultados esperados da análise e gerenciamento de dados.....	148
Quadro G6. Ações e resultados esperados do novo gerenciamento de PI.....	149
Quadro G7. Tipos de aplicação baseadas em nuvem.....	149
Quadro G8. Ações e resultados esperados da cadeia de suprimentos inteligente.....	150
Quadro G9. Ações e resultados esperados do gerenciamento do ciclo de vida.....	150
Quadro G10. Ações e resultados esperados da logística inteligente.....	150
Quadro G11. Ações e resultados esperados do negócio corporativo.....	151
Quadro G12. Ações e resultados esperados da aprendizagem organizacional.....	152

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Artigos sobre desenvolvimento de <i>software</i> na indústria 4.0.....	32
Tabela 2. Trabalhos publicados em congressos e conferências .....	32
Tabela 3. Potenciais especialistas.....	77
Tabela 4. Ondas de envios.....	78
Tabela 5. Valores de RI para a matriz de comparação ordenados de 1 a 10 .....	91
Tabela 6. Comparações realizadas pelo especialista 1 para priorizar os critérios.....	97
Tabela 7. Comparações realizadas pelo especialista 1 segundo critério análise de oportunidades (51,1%) .....	97
Tabela 8. Matriz de julgamento dos critérios .....	98
Tabela 9. Matriz de decisão considerando todos os subcritérios - peso global .....	98
Tabela 10. Resultado geral da avaliação dos especialistas.....	99

## TABELAS DO APÊNDICE

Tabela D1. Importância dos critérios - Especialista 1.....	137
Tabela D2. Importância dos subcritérios no critério análise de oportunidade .....	137
Tabela D3. Importância dos subcritérios no critério tecnologia da informação.....	137
Tabela D4. Importância dos subcritérios no critério novas interfaces e dados .....	137
Tabela D5. Importância dos subcritérios no critério gestão integrada e inteligente.....	137
Tabela D6. Importância dos subcritérios no critério mudança e aprendizagem.....	137
Tabela D7. Importância dos critérios - Especialista 2.....	138
Tabela D8. Importância dos subcritérios no critério análise de oportunidade .....	138
Tabela D9. Importância dos subcritérios no critério tecnologia da informação.....	138
Tabela D10. Importância dos subcritérios no critério novas interfaces e dados .....	138
Tabela D11. Importância dos subcritérios no critério gestão integrada e inteligente.....	138
Tabela D12. Importância dos subcritérios no critério mudança e aprendizagem.....	138
Tabela D13. Importância dos critérios - Especialista 3.....	139
Tabela D14. Importância dos subcritérios no critério análise de oportunidade .....	139
Tabela D15. Importância dos subcritérios no critério tecnologia da informação.....	139
Tabela D16. Importância dos subcritérios no critério novas interfaces e dados .....	139
Tabela D17. Importância dos subcritérios no critério gestão integrada e inteligente.....	139
Tabela D18. Importância dos subcritérios no critério mudança e aprendizagem.....	139
Tabela D19. Importância dos critérios - Especialista 4.....	140
Tabela D20. Importância dos subcritérios no critério análise de oportunidade .....	140
Tabela D21. Importância dos subcritérios no critério tecnologia da informação.....	140
Tabela D22. Importância dos subcritérios no critério novas interfaces e dados .....	140
Tabela D23. Importância dos subcritérios no critério gestão integrada e inteligente.....	140
Tabela D24. Importância dos subcritérios no critério mudança e aprendizagem.....	140
Tabela D25. Importância dos critérios - Especialista 5.....	141
Tabela D26. Importância dos subcritérios no critério análise de oportunidade .....	141
Tabela D27. Importância dos subcritérios no critério tecnologia da informação.....	141
Tabela D28. Importância dos subcritérios no critério novas interfaces e dados .....	141
Tabela D29. Importância dos subcritérios no critério gestão integrada e inteligente.....	141
Tabela D30. Importância dos subcritérios no critério mudança e aprendizagem.....	141
Tabela D31. Importância dos critérios - Especialista 6.....	142
Tabela D32. Importância dos subcritérios no critério análise de oportunidade .....	142
Tabela D33. Importância dos subcritérios no critério tecnologia da informação.....	142
Tabela D34. Importância dos subcritérios no critério novas interfaces e dados .....	142

Tabela D35. Importância dos subcritérios no critério gestão integrada e inteligente.....	142
Tabela D36. Importância dos subcritérios no critério mudança e aprendizagem.....	142
Tabela D37. Importância dos critérios - Especialista 7.....	143
Tabela D38. Importância dos subcritérios no critério análise de oportunidade .....	143
Tabela D39. Importância dos subcritérios no critério tecnologia da informação.....	143
Tabela D40. Importância dos subcritérios no critério novas interfaces e dados .....	143
Tabela D41. Importância dos subcritérios no critério gestão integrada e inteligente.....	143
Tabela D42. Importância dos subcritérios no critério mudança e aprendizagem.....	143

## LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A. Artigos científicos encontrados sobre o desenvolvimento de <i>software</i> na indústria 4.0 .....	124
APÊNDICE B. Trabalhos publicados em congressos e conferências sobre o desenvolvimento de <i>software</i> na indústria 4.0 .....	130
APÊNDICE C. Questionário utilizado na fase de análise de especialistas que avaliaram a adequação dos requisitos da sistemática .....	136
APÊNDICE D. Comparações realizadas pelos especialistas no AHP para priorização dos critérios e subcritérios.....	153
APÊNDICE E. Roteiro da entrevista feita com os especialistas para avaliar como os requisitos da indústria 4.0 são desenvolvidos nas empresas.....	144
APÊNDICE F. Resultados da pesquisa em formato de artigos e seus status quanto publicações .....	145
APÊNDICE G. Guia de implementação dos requisitos gerais para as empresas.....	146

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	- Terceira dimensão
5S	- <i>Seiri</i> (Classificação), <i>Seiton</i> (Ordem), <i>Seiso</i> (limpeza), <i>Seiketsu</i> (padronização), <i>Shitsuke</i> (Disciplina)
6Cs	- Conexão, <i>cloud</i> , cyber, conteúdo, comunidade, customização
ADAS	- <i>Advanced Driver-Assistance Systems</i>
AHP	- <i>Analytic Hierarchy Process</i>
AIJ	- <i>Aggregation of Individual Judgments</i>
AIP	- <i>Aggregating Individual Priorities</i>
ANP	- <i>Analytic Network Process</i>
ANPEI	- Associação Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento das Empresas Inovadoras
AWS	- <i>Amazon Web Services</i>
BAM	- <i>Business Activity Monitoring</i>
CAD	- <i>Computer Aided Design</i>
CAPES	- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CFR	- <i>Code of Federal Regulations</i>
CI	- Inteligência Computacional
CISA	- <i>Cybersecurity and Infrastructure Security Agency</i>
CLP	- Controlador Lógico Programável
CMMI	- <i>Capability Maturity Model Integration</i>
CNI	- Confederação Nacional da Indústria
CPPS	- <i>Cyber Physical Production Systems</i>
CPS	- <i>Cyber Physical Systems</i>
CR	- <i>Consistency Ratio</i>
CRM	- <i>Customer Relationship Management</i>
DCS	- <i>Distributed Control Systems</i>
DFMA	- Design para Manufatura e Montagem
DNN	- <i>DotNetNuke</i>
ERP	- <i>Enterprise Resource Planning</i>
ESAMC	- Escola Superior de Administração, Marketing e Comunicação
ESPM	- Escola Superior de Propaganda e Marketing

ETRM - *Energy Trade and Risk Management*

FAPEMIG - Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Minas Gerais

FCA - Faculdade de Ciências Aplicadas

FDA - *Food and Drug Administration*

FGV - Fundação Getúlio Vargas

FIAP - Faculdade de Informática e Administração Paulista

GAMP5 - *Good Automated Manufacturing Practice*

GPU - *Graphics Processing Unit*

GxP - *Good Practices*

HCMBOK - *Human Change Management Body of Knowledge*

HCFI - *Human Change Management Institute*

HCCP - *Human Change Management Professional*

IA - Inteligência Artificial

IaaS - Infraestrutura como serviço

IBM - *International Business Machines Corporation*

ICE - *Isolated Computer Environment*

ICS - *Industrial Control Systems*

IIoT - Industrial Internet of Things

INATEL - Instituto Nacional de Telecomunicações

INDG - Instituto Nacional de Desenvolvimento Gerencial

IoT - *Internet of Things*

IPC - *Incomplete Pairwise Comparison*

ISI WoS - *ISI Web of Science*

ISVs - *Independent Software Vendor*

ITA - Instituto Tecnológico de Aeronáutica

J&J - *Johnson & Johnson*

JCR - *Journal Citation Reports*

JICA - *Japan International Cooperation Agency*

KPI - *Key Performance Indicator*

Matlab - *MATrix LABoratory*

MBA - *Master of Business Administration*

MPS-BR - Melhoria de Processos do Software Brasileiro

MQTT - *Message Queuing Telemetry Transport*

NIST - *National Institute of Standards and Technology*

OPC UA	- <i>Open Platform Communications Unified Architecture</i>
OpenMI	- <i>Open Modeling Interface</i>
OSI-PI	- <i>OSIsoft PI System</i>
OT	- Operational Technology
PaaS	- Plataforma como serviço
P&D	- Pesquisa e Desenvolvimento
P&L	- <i>Profit &amp; Loss Statement</i>
PDM	- Product Data Management
PDP	- Processo de Desenvolvimento de Produto
PI	- Propriedade Intelectual
PLC	- <i>Programmable Logic Controllers</i>
PLM	- <i>Product Lifecycle Management</i>
PMBOK	- <i>Project Management Body of Knowledge Guide</i>
PMI	- <i>Project Management Institute</i>
PMP	- Profissional de Gerenciamento de Projetos
POLI	- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Portal TIA	- <i>Totally Integrated Automation</i>
PROFIBUS	- <i>Process Field Bus</i>
Projetos CIP	- Centro Integrado de Pesquisa
PWC	- <i>PricewaterhouseCoopers</i>
QFD	- <i>Quality Function Deployment</i>
RDC 69	- Resolução da Diretoria Colegiada
RFID	- <i>Radio-Frequency IDentification</i>
RI	- <i>Random Index</i>
SaaS	- <i>Software</i> como serviço
SAP	- Sistemas, Aplicativos e Produtos para Processamento de Dados
SCADA	- <i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SGSI	- Sistema de Gestão de Segurança da Informação
SOX	- <i>Lei Sarbanes-Oxley</i>
SWOT	- <i>Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats</i>
TEDx	- <i>Technology, Entertainment, Design.</i>
TI	- Tecnologia da Informação
TIC	- Tecnologia da Informação e Computação
TLM	- <i>Technology Lifecycle Management</i>

UFLA - Universidade Federal de Lavras  
UNESP - Univesidade Estadual de São Paulo  
UNICAMP - Universidade de Campinas  
UNIFEI - Universidade Federal de Itajubá  
UNIMEP - Universidade Metodista de Piracicaba  
USA - *United States of America*  
USB - *Universal Serial Bus*  
USP - Universidade de São Paulo  
VPN - *Virtual Private Network*



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	18
1.1. CONTEXTO E JUSTIFICATIVA .....	18
1.2. OBJETIVOS E MOTIVAÇÃO .....	20
1.3. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA .....	23
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	24
<b>2. INDÚSTRIA 4.0 E DESENVOLVIMENTO DE <i>SOFTWARE</i> NA INDÚSTRIA 4.0</b> .....	26
2.1. INDÚSTRIA 4.0 .....	26
2.2. DESENVOLVIMENTO DE <i>SOFTWARE</i> NA INDÚSTRIA 4.0 .....	28
<b>2.2.1. Análise bibliométrica</b> .....	30
2.2.1.1. <i>Análise dos resultados</i> .....	31
2.2.1.2. <i>Temáticas, lacunas e tendências</i> .....	35
2.3. DESENVOLVIMENTO DE <i>SOFTWARE</i> E ENGENHARIA DE REQUISITOS.....	40
2.4. REQUISITOS GERAIS.....	43
<b>3. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO DA SISTEMÁTICA</b> .....	63
3.1. DEFINIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	63
3.2. ETAPAS DA PESQUISA .....	65
3.3. VISÃO GERAL DA SISTEMÁTICA.....	66
3.4. ANÁLISE DE ESPECIALISTAS ACADÊMICOS .....	77
<b>4. PRIORIZAÇÃO DAS ETAPAS DA SISTEMÁTICA POR MEIO DA MODELAGEM</b> .....	87
4.1. JUSTIFICATIVAS PARA O USO DO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) .....	87
4.2. O MÉTODO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) .....	89
4.3. APLICAÇÃO DO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP).....	92
<b>4.3.1. Estruturação e atribuição de pesos</b> .....	95
<b>4.3.2. Síntese dos resultados</b> .....	99
<b>5. ANÁLISE DE ESPECIALISTAS DAS EMPRESAS</b> .....	104
5.1. RESPOSTAS DOS ESPECIALISTAS E AVALIAÇÃO DA EMPRESA.....	107
5.2. SISTEMÁTICA FINAL E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	113
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	120
6.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	120
6.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	123
APÊNDICES.....	124
APÊNDICE A .....	124
APÊNDICE B .....	130
APÊNDICE C .....	136
APÊNDICE D .....	137
APÊNDICE E .....	144
APÊNDICE F.....	145
APÊNDICE G.....	146
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	153

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. CONTEXTO E JUSTIFICATIVA

A indústria 4.0, também chamada de quarta revolução industrial, envolve novas tecnologias empregadas para integrar máquinas e humanos em cadeias de valor, compondo uma rede de entidades (plantas industriais) localizadas em posições geograficamente distribuídas (dispersas), e que devem fornecer serviços e produtos de forma autônoma (SILVA, 2015; LONGO; NICOLETTI; PADOVANO, 2017; KIPPER *et al.*, 2019). De acordo com Heber (2014), essa nova indústria iniciou-se na Alemanha, que introduziu o termo indústria 4.0. Ela descreve o processo de fabricação computadorizada, no qual a tecnologia está se fundindo com o mundo físico e digital. As máquinas e produtos serão interligados e capazes de se comunicar sem interferência humana (CAVALCANTE; ALMEIDA, 2018). Prevê-se que até o final de 2020, 50 bilhões de dispositivos estarão conectados à internet, mostrando a importância e o progresso da quarta revolução industrial (FRAGA; FREITAS; SOUZA, 2016).

A indústria 4.0, cuja base tecnológica é composta por sistemas físicos/cibernéticos e a internet das coisas, é um projeto no âmbito da estratégia de alta tecnologia do governo alemão que promove a informatização da manufatura. Seu objetivo é chegar à fábrica inteligente (*smart manufacturing*), que se caracteriza pela capacidade de adaptação, pela eficiência dos recursos e ergonomia, bem como pela integração de clientes e parceiros em processos de negócios e de valor (AHMI; ELBARDAN; ALI, 2019). Especialistas acreditam que a indústria 4.0 ou a quarta revolução industrial poderia ser realizada dentro de uma década (SANTOS, 2015).

A Imam Logística e Supply (2016) apresentou um estudo mostrando que 83% das empresas de manufatura, nos Estados Unidos, já possuem soluções da indústria 4.0, como IoT (*Internet of Things*) ou devem começar a ter no próximo ano. E mais de 95% das empresas entrevistadas acreditam que as organizações estão prontas para as mudanças necessárias para implementar as ferramentas da indústria 4.0. Esse conceito de troca de informação e geração de dados tem potencial para revolucionar a indústria (BOLOGA *et al.*, 2017; KABUGO *et al.*, 2020).

Dentro deste contexto de soluções da indústria 4.0, a tecnologia da informação vem sendo discutida. Albertin e Moura (2002) definem que os benefícios da tecnologia da informação e comunicação (TIC) podem ser definidos como redução de custos, aumento de produtividade, maior flexibilidade, aumento da qualidade e incorporações de inovações, sendo que estes benefícios podem ser entendidos como a oferta que esta tecnologia traz para as organizações.

As empresas envolvidas com o cenário da tecnologia da informação por meio do desenvolvimento de *software* e/ou tecnologia são as empresas mais propensas aos riscos de acordo com Kendrick (2003). Para Hu *et al.* (2013), Lindholm, Notander e Höst (2014) e Neves e Silva (2016) são empresas mais propensas a uma multiplicidade de riscos que resultam em mudanças de requisitos e escopo. Sendo também as que utilizam de inovação e análise de oportunidades em seus projetos, visto que estão sujeitas a ambientes instáveis e frequentes mudanças (MACEDO, 2015; ELLWEIN; ELSER; RIEDEL, 2019). Diante desse cenário, a indústria de desenvolvimento de *software* tem utilizado abordagens adaptativas para gerenciar projetos, em detrimento ao uso de abordagens prescritivas (WEST; GRANT, 2010).

Essa característica de empresas que utilizam do conhecimento e aprimoramento de técnicas revelam o cenário competitivo e cada vez mais exigente a qual estão inseridas (VICK; NAGANO, 2012; BOUSDEKIS *et al.*, 2019). Contudo, muitas empresas ainda não estabeleceram efetivos modelos de gestão, seja pela dificuldade que estes exigem ou pelas falhas que surgem no processo (BI *et al.*, 2016; MARNEWICK; MARNEWICK, 2020).

Nos últimos anos os mercados têm sofrido rápidas modificações e uma ilimitada proliferação de novas tecnologias, as empresas têm focado em inovação e investido em pesquisa e desenvolvimento (LOUREIRO, 2011; XU; TANG, 2017). Porém, integrar e comunicar as estratégias de desenvolvimento de mercado, produto e tecnologia com as metas do negócio ao longo do tempo continua a ser um desafio para várias organizações (VISHNEVSKIY; KARASEV; MEISSNER, 2016).

A teoria sobre o desenvolvimento de *software* na indústria 4.0 mostra que as demandas e vertentes dos sistemas integrados e tecnológicos estão cada vez mais exigentes em termos de automação e inteligência artificial (LI; SI, 2017). Em um ambiente de constantes mudanças é necessário estabelecer os requisitos que compõem essas demandas tecnológicas e sistematizá-los, visto que não existe um modelo que os contemple. Os modelos existentes são específicos de áreas como a robótica ou a automação (MAHIDHAR; SCHATSKY, 2013; OPENSHAW *et al.*, 2014). Esses cenários tecnológicos exigem esforços organizacionais e integração dos diversos sistemas, visto que o desenvolvimento de *software* é importante para a indústria 4.0, porém ainda não sistematizado por meio de requisitos gerais nesse contexto (SHA; XIAO; CHEN, 2018). Para entender como os requisitos se adaptam a essas características industriais é necessário entender suas particularidades, como eles podem ser utilizados, os riscos em que estão envolvidos e suas vantagens de implementação (ACETO; PERSICO; PESCAPÉ, 2019).

Baseando-se nas considerações apresentadas, este estudo visa responder a seguinte questão de pesquisa: Quais os requisitos gerais que devem compor uma sistemática para o desenvolvimento de *software* na indústria 4.0?

Ao responder a questão, esta pesquisa culmina em desenvolver uma sistemática para o desenvolvimento de *software* na indústria 4.0. A sistemática constitui em uma contribuição acadêmica para os profissionais que atuam nas empresas onde há a necessidade de desenvolver *software* no contexto crescente das demandas da indústria 4.0, contribuição esta que prima pela sua atualidade, originalidade e novidade. A sistemática passa pelo crivo de especialistas acadêmicos e de empresas e suas etapas passam pela priorização por meio do método AHP, visando ordenar os requisitos pelo método multicritério.

O termo sistemática se refere às descrições de ‘como’ os temas devem ser abordados, que na literatura são descritos como modelo, estrutura (ABNT, 2018), sistemática ou processo (GOLDBERG; WEBER, 1998) e ‘estratégia’ para técnicas ou ferramentas que apoiam as análises. Os requisitos gerais se referem a propriedades ou comportamentos que algo deve atender, sendo tipicamente utilizado como informações fundamentais, funções necessárias ou desejáveis a serem consideradas. Sendo assim, referem-se a características, atributos, habilidades ou qualidades que um sistema deve necessariamente prover para ser útil a seus usuários (STELLMAN; GREENE, 2005; WIEGERS, 2003).

## 1.2. OBJETIVOS E MOTIVAÇÃO

O objetivo geral desta pesquisa é desenvolver uma sistemática que utilize os requisitos gerais para o desenvolvimento de *software* na indústria 4.0. Com relação aos objetivos específicos, considerando o desenvolvimento de *software* na indústria 4.0, são:

- Identificar os requisitos gerais, os desafios, os riscos, as lacunas, as vantagens e tendências;
- Associar os requisitos gerais a sistemática;
- Priorizar e comparar as etapas da sistemática por meio de um método de tomada de decisão multicritério;
- Analisar como os requisitos gerais são utilizados nas empresas.

As motivações para a realização desta pesquisa estão relacionadas às seguintes observações:

#### **Relevância do tema indústria 4.0**

Ao lidar com os desenvolvimentos mais recentes nos sistemas de fabricação, a indústria inteligente e a indústria 4.0 são palavras-chave cruciais (LONGO; NICOLETTI; PADOVANO, 2017; CAVALCANTE; ALMEIDA, 2018). Segundo os mesmos autores, as capacidades das soluções/ferramentas digitais abriram novas oportunidades e criaram desafios ambiciosos para os sistemas de fabricação. O avanço da digitalização tem o potencial de revolucionar o cotidiano, oferecendo soluções para desafios em áreas como mobilidade urbana, com o desenvolvimento e adoção de tecnologias ligadas ao conceito de cidades inteligentes (*smart cities*); eficiência energética, com a implantação das redes elétricas inteligentes (*smart grid*); atendimento à saúde, com o desenvolvimento, por exemplo, de soluções de saúde à distância; e produtividade industrial, com o desenvolvimento da Manufatura Avançada (CNI, 2016).

Um número crescente de dispositivos capazes de se comunicarem uns com os outros e coletar dados do ambiente e dos usuários (*smartphones*, veículos, eletrodomésticos, sistemas de iluminação), associado às tecnologias de *big data*, computação em nuvem e novas tecnologias de tratamento de dados, podem abrir espaço para a criação de novos modelos de negócio, alterando a forma como as empresas se relacionam com clientes e fornecedores (THAMES; SCHAEFER, 2016). Essa integração de objetos físicos, interações humanas, máquinas inteligentes, processos e linhas de produção resultam no desenvolvimento de uma nova cadeia de valor, inteligente, conectada e ágil (KLUTH *et al.*, 2014; SCHUMACHER; EROL; SIHN, 2016).

As possibilidades de arranjo das diferentes alternativas das tecnologias da indústria 4.0 podem resultar em diversos benefícios, tais como: melhorias na redução do tempo de processamento dos produtos (QIN; LIU; GROSVENOR, 2016), melhorias de qualidade (LEE; KAO; YANG, 2014; PETCHARIT; SORNSARUHT; PIMDEE, 2020), eficiência dos processos (LASI; KEMPER, 2014, MARTIN *et al.*, 2019), redução do custo de processos (QIN; LIU; GROSVENOR, 2016; STOCK; SELIGER, 2016), flexibilidade de processos (BRETTEL *et al.*, 2014; JAVAID *et al.*, 2020), melhor atendimento dos requisitos dos clientes (STOCK; SELIGER, 2016), personalização dos produtos (BRETTEL *et al.*, 2014; SHAFIQ *et al.*, 2015) entre outros. Qin, Liu e Grosvenor (2016) afirmam, com certo exagero, que não se pode mais falar de desenvolvimento tecnológico inovador em diversas áreas, sem falar da indústria 4.0.

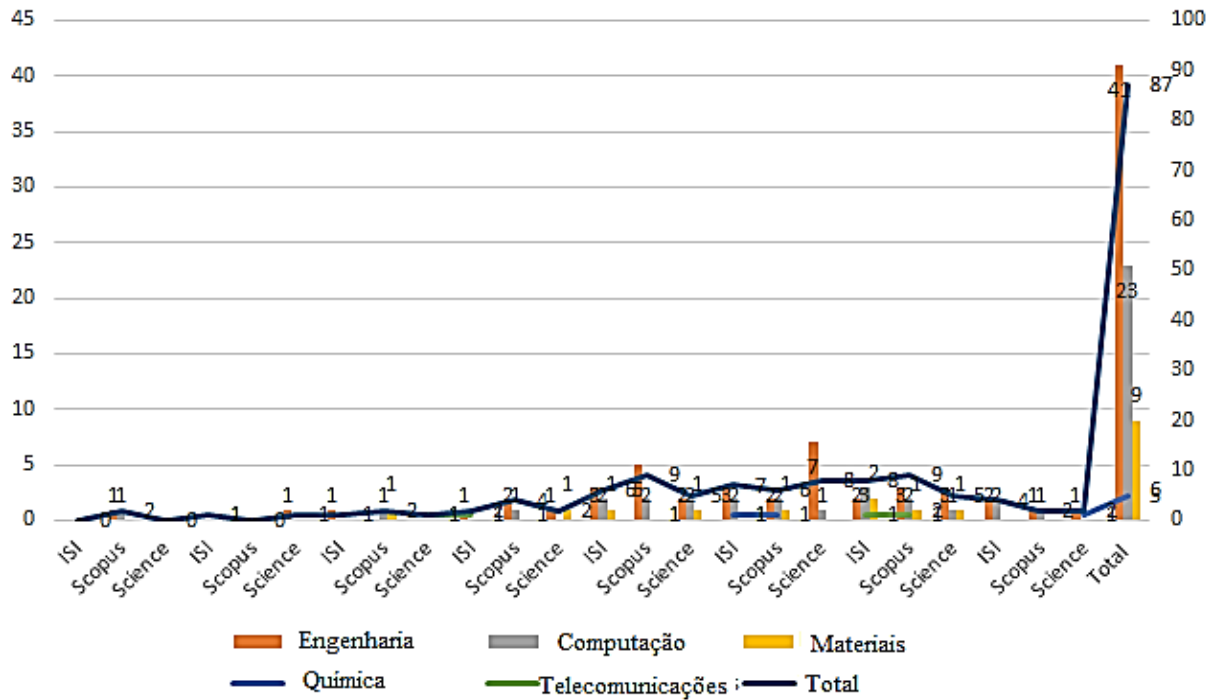
### **Relevância do tema desenvolvimento de *software* na indústria 4.0**

Apesar da indústria 4.0 ser bem conceitualizada e clara nos seus fundamentos, é um processo difícil devido à diversidade de sistemas e dada a multiplicidade de soluções disponíveis/concebíveis (LONGO; NICOLETTI; PADOVANO, 2017). A indústria 4.0 é baseada em *software* que fornecem maneiras inovadoras para as organizações gerenciarem e monitorarem suas operações, de maneira inteligente e integrada, utilizando o máximo da tecnologia embarcada, sensores e conexões (PENAS *et al.*, 2017). Porém, essa adaptação incorre em riscos e desafios para a organização, relacionados a quantidade de dados, falta de compatibilidade de sistemas, falta de adequação tecnológica, entre outros fatores que podem se tornar um problema e, assim, devem ser bem administrados mantendo a atenção nos objetivos e *know-how* da empresa (DIEBER *et al.*, 2018). Com base em pesquisas encontradas em Weyer *et al.* (2015), Stock e Selinger (2016) e Qin, Liu e Grosvenor (2016), uma sistemática para a realização da indústria 4.0 ainda não é clara.

### **Contribuição tecnológica e acadêmica**

A necessidade de melhoria das técnicas de gestão tecnológica dentro das empresas, evidenciado por Bi *et al.* (2016) e Wu, Terpenney e Schaefer (2017), são indicadores de mudanças na estratégia organizacional das empresas, visando a adequação dos métodos e processos. O trabalho contribuirá para fornecer possibilidades de melhoria na administração das tecnologias e inovações voltadas para a gestão estratégica e tecnológica das organizações.

A contribuição acadêmica se justifica com base na pesquisa bibliográfica que utiliza as bases científicas (ISI Web of Science, Science Direct e Scopus). As análises dos artigos identificados nestas bases mostraram a quantidade de publicações sobre o desenvolvimento de *software* na indústria 4.0 (Figura 1). O tema se estende por diversas áreas de conhecimento, como: engenharia, computação, materiais, química e telecomunicações. A pesquisa bibliométrica completa é encontrada no capítulo 2.

Figura 1. Publicações por ano - Desenvolvimento de *software* na indústria 4.0

Fonte: elaborada pela autora

Os temas mantêm um número crescente de publicações durante os últimos anos. O ano de 2020 apresenta menos publicações por ser o período de coleta de dados. O estudo demonstra que o desenvolvimento de *software* na indústria 4.0 ainda é pouco explorado em termos de artigos científicos, porém, vem aumentando suas publicações, demonstrando assim uma lacuna importante na literatura.

Deste modo, demonstram-se como constituintes da originalidade deste trabalho, uma sistemática que utiliza os requisitos gerais para o desenvolvimento de *software* na indústria 4.0. E a utilização de um método de tomada de decisão multicritério para priorizar as fases e atividades que fazem parte da sistemática desenvolvida nesta tese.

### 1.3. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

As principais delimitações deste trabalho são:

- Universo de pesquisa: o estudo foi realizado com empresas de manufatura que utilizam de tecnologias referente à indústria 4.0, não podendo o mesmo ser generalizado para todas as empresas.
- Foco da pesquisa: esta pesquisa teve como foco o desenvolvimento de *software* na indústria 4.0, e não a engenharia de *software* e outros conceitos semelhantes.

- Validação da sistemática: nesta pesquisa não se fará a implementação da sistemática estruturada, pois os métodos de Tomada de Decisão Multicritério realizados previamente, e com a participação dos responsáveis das empresas e de acadêmicos da área, indicarão a viabilidade e operacionalização da abordagem.
- Número de respondentes/especialistas: foram selecionados responsáveis de empresas que representaram adequadamente o universo da pesquisa por sua área de atuação e sua representatividade, porém todos eles são brasileiros.

#### 1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é composto por cinco capítulos:

**O capítulo 1 - Introdução:** consiste no contexto, justificativas, os objetivos, as motivações para a realização da pesquisa, a delimitação e a forma como ela está estruturada.

**O capítulo 2 - Indústria 4.0 e desenvolvimento de *software* na indústria 4.0:** são abordados os principais conceitos de desenvolvimento de *software* na indústria 4.0. Terá início pelos fundamentos da indústria 4.0, seguidos pelos aspectos que envolvem sua conceituação pelos diversos autores e abordagens integrantes da literatura selecionada. Além do levantamento bibliométrico, incluindo as análises das temáticas, tendências e lacunas, a engenharia de requisito e a revisão sistemática da literatura sobre os requisitos gerais do desenvolvimento de *software* na indústria 4.0, suas implicações e vertentes.

**O capítulo 3 – Metodologia e desenvolvimento da sistemática:** será tratado o método de pesquisa a ser utilizado, justificar-se-á o processo de escolha do método, sua adequação à especificidade da pesquisa e sua aderência às características da sistemática. O capítulo apresentará os conceitos e fundamentos, baseados na revisão da literatura, descrevendo a sistemática, sua configuração e formatação. Neste capítulo também é realizada a adequação da sistemática com os especialistas acadêmicos.

**O capítulo 4 – Priorização das etapas da sistemática por meio da modelagem:** o capítulo apresentará as definições e os conceitos referentes a métodos multicritérios de auxílio à decisão. Desenvolverá os conceitos do AHP (*Analytic Hierarchy Process*), como se dará a aplicação do método e os seus resultados.

**O capítulo 5 – Análise de especialistas das empresas:** o capítulo mostrará a adequação da sistemática por meio de análise de especialistas de empresas que participam do desenvolvimento de *software*. Neste capítulo é apresentada a sistemática final e a análise dos resultados.



**O capítulo 6 - Conclusões:** este capítulo apresenta as conclusões e as recomendações para trabalhos futuros.

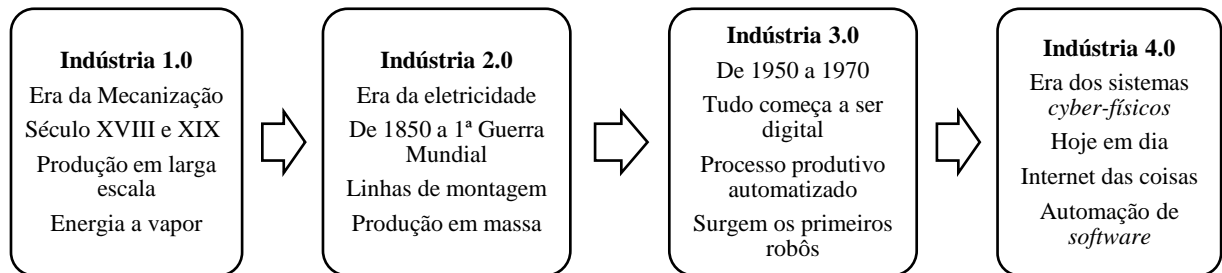
Complementam as referências bibliográficas, Apêndice A em que são apresentados os artigos científicos encontrados sobre o desenvolvimento de *software* na indústria 4.0 e o Apêndice B onde são apresentados os trabalhos publicados em congressos e conferências, sobre o mesmo tema. O Apêndice C mostra o questionário utilizado na fase de análise de especialistas que avaliaram a adequação dos requisitos da sistemática. O Apêndice D contém as comparações realizadas pelos especialistas no AHP para priorização dos critérios e subcritérios. O Apêndice E apresenta o roteiro da entrevista feita com os especialistas para avaliar como os requisitos da indústria 4.0 são desenvolvidos nas empresas. O Apêndice F mostra os resultados da pesquisa em formato de artigos e seus status quanto publicações. O Apêndice G mostra o guia de implementação dos requisitos gerais para as empresas, contendo as abordagens e as ferramentas.

## 2. INDÚSTRIA 4.0 E DESENVOLVIMENTO DE *SOFTWARE* NA INDÚSTRIA 4.0

### 2.1. INDÚSTRIA 4.0

A Indústria 4.0, também chamada de quarta revolução industrial (SCHLICK *et al.*, 2012; NICOLAE; KORODI; SILEA, 2019), teve seu início na Europa, e se disseminou pelas grandes cadeias de automação de produção que, desde o início da década de 1970, foi impulsionada por desenvolvimentos em eletrônica e tecnologia da informação e comunicação (LONGO; NICOLETTI; PADOVANO, 2017). A evolução industrial até a indústria 4.0 pode ser identificada na Figura 2.

Figura 2. Evolução industrial até a indústria 4.0



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

A indústria 4.0 é um sistema integrado baseado em modernos sistemas de controle, *software* embarcado, internet e sistemas *cyber-físicos* (XU *et al.*, 2019). Baseia-se na melhoria do trabalho intelectual, especialmente em atividades de engenharia e de tomada de decisão (SCHUH *et al.*, 2014; MARNEWICK; MARNEWICK, 2020). Assim, buscando esses benefícios, a indústria entrelaça as ferramentas tradicionais de tecnologia da informação e comunicação com os limites entre o mundo real e o mundo virtual nos conhecidos *Cyber Physical Production Systems* (CPPSs), que são o núcleo dos novos sistemas distribuídos de controle e automação, ou ainda o sistema de produção do futuro próximo (KEELEY, 2013; CRUZ *et al.*, 2019). CPPSs são redes *online* de máquinas sociais que são organizadas de forma semelhante às redes sociais. Elas ligam a TI com componentes mecânicos e eletrônicos que se comunicam por meio de uma rede. O *Radio-Frequency Identification* (RFID), que foi utilizada desde 1999, foi uma forma muito precoce dessa tecnologia (SHROUF; ORDIERES; MIRAGLIOTTA, 2014; ÁLVAREZ *et al.*, 2018).

As máquinas inteligentes compartilham continuamente informações sobre níveis atuais de estoque, problemas ou falhas e mudanças nos pedidos ou níveis de demanda (MAHIDHAR; SCHATSKY, 2013; COITO *et al.*, 2019). Os processos e os prazos são coordenados com o objetivo de aumentar a eficiência e otimizar os tempos de produção, a utilização da capacidade e a qualidade no desenvolvimento, produção, comercialização e compras (SCHLICK *et al.*, 2012; GONG; ZOU; KAN, 2019). CPPSs não são apenas máquinas de rede entre si, também criam uma rede inteligente de máquinas, propriedades, sistemas, produtos e o ciclo de vida completo do produto (KEELEY, 2013; BATCHKOVA; IVANOVA, 2019). Sensores e elementos de controle permitem que as máquinas sejam ligadas a plantas industriais, frotas, redes e seres humanos. Redes inteligentes desse tipo são a base das fábricas inteligentes, sendo que elas próprias sustentam a indústria 4.0 (COTTELEER; HOLDOWSKY; MAHTO, 2014; BONAVOLONTA *et al.*, 2019). Qin, Liu e Grosvenor (2016) propõem um quadro categórico e hierárquico, no qual a indústria 4.0 é realizável por meio de um processo contínuo e incremental de evolução, cujas principais dimensões são a automação e a inteligência artificial.

A importância central para a indústria 4.0 é a sua interface com outras infraestruturas inteligentes, como a mobilidade, a rede, a logística, e as casas e edifícios (OPENSHAW *et al.*, 2014; BOUSDEKIS *et al.*, 2019). *Links* para redes comerciais e sociais - a *web* de negócios e a *web* social - também desempenham um papel cada vez mais importante na transformação digital (MAHIDHAR; SCHATSKY, 2013). Todas estas novas redes e interfaces oferecidas pela indústria 4.0 dentro de uma 'internet de coisas, serviços, dados e pessoas' significam que a fabricação está sujeita a mudanças enormes no futuro (SOIC *et al.*, 2020). Esta tendência ainda está incipiente em algumas empresas e setores industriais, mas em outros, a transformação para a indústria 4.0 já está ocorrendo.

A lei de Moore (MOORE, 1965; DECHAMPS; NIELS, 2018) afirma que a capacidade de *microchips*, largura de banda e computadores duplica a cada 18 meses, representando crescimento exponencial - também se aplica a outros desenvolvimentos tecnológicos. A impressão em 3D, a tecnologia de sensores, a inteligência artificial, a robótica, os *drones* e a nanotecnologia são apenas alguns exemplos de tecnologias exponencialmente crescentes que mudam radicalmente, acelerando-as e tornando-as mais flexíveis (LONGO; NICOLETTI; PADOVANO, 2017). Estas tecnologias não são novas, no entanto, o aumento maciço do poder de computação e a redução de custo, juntamente com a miniaturização, as tornam adequadas para uso industrial (HALL; GU; GUO, 2018). Elas podem se referir à integração com a indústria 4.0 e ter forte ligação/integração com a inovação, informática, redes, entre outras formas de comunicação e informação conectadas (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013;

AHMI; ELBARDAN; ALI, 2019), com demandas específicas para o desenvolvimento de *software*.

## 2.2. DESENVOLVIMENTO DE *SOFTWARE* NA INDÚSTRIA 4.0

Pressman, Maxim e Bruce (2016) definem *software* como:

- instruções (programas de computador) que, quando executadas, fornecem características, funções e desempenho desejados;
- estruturas de dados que possibilitam aos programas manipularem informações adequadamente; e
- informação descritiva, tanto na forma impressa como na virtual, descrevendo a operação e o uso dos programas.

Assim, um processo de desenvolvimento de *software* pode ser visto como um conjunto de atividades, métodos, práticas e transformações que norteiam pessoas envolvidas na produção do *software* (LAMOUNIER, 2014).

A indústria de *software* está ligada de forma direta à indústria 4.0, pois dela se deriva todas as técnicas e soluções que a organização tecnológica precisa (MINEO *et al.*, 2016; KNECHT; SCHULLER; MICLAUS, 2020). Desse modo, pelas técnicas de soluções em indústria 4.0 tem-se (KEELEY, 2013; MAHIDHAR; SCHATSKY, 2013; OPENSHAW *et al.*, 2014):

- Rede vertical: integração de TI, análise e gerenciamento de dados, aplicações baseadas em nuvem e eficiência operacional 2.0.
- Integração horizontal: otimização do modelo de negócios, cadeia de suprimentos inteligente, logística inteligente, gerenciamento de segurança de TI, novos modelos de tributação e novo gerenciamento de propriedade intelectual.
- Engenharia em toda a cadeia de valor: os ‘dez tipos de inovação’, gestão eficiente da inovação, gerenciamento eficiente do ciclo de vida.
- Tecnologias exponenciais: negócio corporativo e aprendizagem organizacional.

Os engenheiros de *software* estão envolvidos com o desenvolvimento de produtos de *software*, como: banco de dados, processadores de texto, ferramentas de gerenciamento de projetos, abrangendo também áreas complexas como os sistemas de controle de tráfego aéreo, *sites* e *e-commerces* (SOMMERVILLE, 2011; AKŞIT, 2018).

De acordo com a literatura de Wazlawick (2013) e Pressman, Maxim e Bruce (2016), o processo de desenvolvimento de *software* pode ser dividido em sete fases: concepção, levantamento de requisitos, análise de requisitos, projeto, implementação, testes e implantação.

Quando se fala em desenvolvimento de *software* aliado à indústria 4.0, pode se deparar com problemas de integração, ou até perdas oriundas desse desenvolvimento de *software* em ambiente instável e transformador. Nesse sentido, a industrialização moderna, passa por alguns desafios como a própria conexão em rede de objetos físicos, ambientes, veículos e máquinas por meio de dispositivos eletrônicos embarcados que permitem a coleta e troca de dados, pois esses sistemas *cyber-físicos* são dotados de sensores complexos e sensíveis (PENAS *et al.*, 2017). Dessa forma, a falta de compatibilidade entre os sistemas precisa ser considerada.

As estruturas de dados (*big data*) são muito extensas e complexas e ainda utilizam novas abordagens para a captura, análise e gerenciamento de informações. Aplicada à indústria 4.0, a tecnologia de *big data* precisa dos 6Cs para lidar com informações relevantes: conexão (à rede industrial, sensores e CLPs), *cloud* (nuvem/dados por demanda), *cyber* (modelo e memória), conteúdo, comunidade (compartilhamento das informações) e customização (personalização e valores) (WANG *et al.*, 2017).

Um dos principais desafios para o sucesso da indústria 4.0 está na segurança e robustez dos sistemas de informação. Problemas como falhas de transmissão na comunicação máquina-máquina, ou até mesmo eventuais dificuldades de sistema podem causar transtornos na produção (SHA; XIAO; CHEN, 2018). Com toda essa conectividade, também se faz necessários sistemas que protejam o *know-how* da companhia, contido nos arquivos de controle dos processos (DIEBER *et al.*, 2018).

Outros desafios estão relacionados a questão de que os *software* estão impulsionando os avanços na fabricação e isso significa que esse está substituindo a mão de obra humana nas organizações (TELLES; VIANNA; LE ROUX, 2018). Com fábricas extremamente automatizadas, existe o questionamento quanto ao risco de desemprego em larga escala, o que geraria grandes problemas sociais, especialmente se a força de trabalho não estiver qualificada para assumir novas funções em um ambiente digitalizado. Além disso, há necessidade de entender os impactos nas relações de consumo (GIORGIO *et al.*, 2017). Uma vez que o consumidor será responsável por gerar as especificações que serão aplicadas ao produto no momento da compra, tornando-o praticamente exclusivo, caberá determinar como deverá ser regulada a insatisfação do cliente e as possíveis devoluções (MUELLER; CHEN; RIEDEL, 2017). O Quadro 1 apresenta as demandas do desenvolvimento de *software* na indústria 4.0.

Quadro 1. Demandas do desenvolvimento de *software* na indústria 4.0

Demandas	Comentários
Computação móvel e o acesso a informação	Necessidade de expansão dos serviços de internet móvel e fixa, com largura de banda adequada aos novos tráfegos de dados. Além da desoneração dos serviços de telecomunicações, visando o incremento do comércio eletrônico, como plataforma necessária ao novo ambiente de competitividade (MARTINEZ <i>et al.</i> , 2017).
Mídia social e o conhecimento compartilhado	Revisão e ajuste da legislação que trata do comércio eletrônico, de maneira a tornar as transações mais confiáveis (BOLOGA <i>et al.</i> , 2017).
Internet e conexão por meio de protocolo único	Necessidade de difusão do novo cenário tecnológico para estudantes, que serão responsáveis pela implementação e manutenção das tecnologias aplicadas nas novas fábricas e empresas de serviço. Trazer a comunidade de pesquisadores da área tecnológica para o fórum de discussões, bem como outras entidades de âmbito nacional (TELLES; VIANNA; LE ROUX, 2018).
Máquina-máquina ou a autorregulação na produção	Direciona ao incentivo às empresas para nacionalizarem a produção e implementação de tecnologias que são a base da plataforma tecnológica (Rauch <i>et al.</i> , 2018). Revisão da legislação que assegura a segurança do ambiente virtual, onde máquinas de diferentes empresas vão interagir, e gerar demandas que produzirão consequências físicas e econômicas para os parceiros de negócios. Esclarecer quanto a responsabilidade legal sobre as consequências de falhas operacionais que causem prejuízos na cadeia de negócios (BLANCO <i>et al.</i> , 2018).
<i>Big Data</i> e análise preditiva	Necessidades de difusão do novo cenário tecnológico. Discussão e revisão da legislação que assegure a segurança da informação, bem como a propriedade intelectual e cultural em relação aos dados gerados. Praticamente todo conhecimento sobre a cultura de consumo do país estará disponível na grande massa de dados (WANG <i>et al.</i> , 2017, KOZJEK <i>et al.</i> , 2020).

Fonte: elaborada pela autora

Assim, se pode dizer que a indústria 4.0 irá aumentar substancialmente a complexidade tecnológica dos processos de agregação de valor (LOPEZ *et al.*, 2018). Dominar esse grau de complexidade exige ferramentas de *software* adequadas para projetar e construir as instalações e sistemas relevantes e, naturalmente, também para operá-los (PRAUSE; WEIGAND, 2016; ACETO; PERSICO; PESCAPÉ, 2019).

Para se identificar a contribuição do conhecimento científico derivado das publicações acerca do desenvolvimento de *software* na indústria 4.0 foi realizada uma análise bibliométrica.

### 2.2.1. Análise bibliométrica

Tendo como objetivo identificar os requisitos gerais demandados pela literatura do desenvolvimento de *software* na indústria 4.0, foi realizada uma tabulação dos artigos e trabalhos publicados em congressos e conferências, referentes ao tema abordado, por meio de um levantamento bibliométrico, entre os períodos de 2013 a 2020. Esse período foi escolhido, pois representa o início de quando o tema começou a ser efetivamente discutido nos artigos, publicações e livros e seguindo até a data atual. A coleta dos dados ocorreu por meio de consultas a bases de dados: ISI Web of Science, Science Direct e SCOPUS. Se justificam as

escolhas por serem considerados os melhores mecanismos de busca acadêmica para facilitar a procura por conteúdo científico, considerando os critérios de especificidade por área, linguagem científica, credibilidade, confiabilidade e responsabilidade (BUCHINGER; CAVALCANTI; HOUNSELL, 2014). Além disso, são bases que possuem critérios baseados em padrões internacionais para a avaliação de periódicos, sendo as maiores coleções de periódicos indexados, com informações bibliográficas e citações na ordem de milhares de artigos científicos. O período de coleta de dados foi o mês de agosto de 2020. Para manter a abrangência e legitimidade da pesquisa, foram utilizadas as palavras chave: *industry 4.0* e *software development* com seus termos correlatos e derivações que são demonstradas no Quadro 2.

Quadro 2. Palavras chaves

<i>Industry 4.0</i>	<i>Software development</i>	Autores
<i>Internet of things</i>	<i>cloud application</i>	Mahidhar e Schatsky (2013), Keeley (2013) e Openshaw <i>et al.</i> (2014).
<i>Internet of everything</i>	<i>IT security</i>	
<i>Industrial internet</i>	<i>Data management</i>	

Fonte: elaborada pela autora

Esses termos e conceitos foram identificados na fundamentação teórica e têm em comum o reconhecimento de que os métodos tradicionais de fabricação e produção estão em plena transformação digital (OPENSHAW *et al.*, 2014).

Na busca foram considerados os objetivos e os resumos dos artigos, nos quais foram procuradas as palavras chaves, para a seleção ampla de prováveis trabalhos de interesse. Assim, utilizou-se de tópicos que consideram o título, palavras chave e resumo dos artigos/trabalhos. Foram selecionados artigos científicos e trabalhos publicados em congressos e conferências, levando em conta sua dinamicidade e atualidade.

#### 2.2.1.1. Análise dos resultados

As três bases de dados possibilitaram identificar 182 artigos e trabalhos publicados em congressos e conferências. A lista de artigos, com seus respectivos objetivos, se encontra nos Apêndices A e B. Os números são demonstrados nas Tabelas 1 e 2:

Tabela 1. Artigos sobre desenvolvimento de *software* na indústria 4.0

	Science Direct	ISI WoS	SCOPUS	Total
Artigos	31	37	44	112
Artigos identificados em mais de uma base	7	8	10	25
Total de artigos a serem analisados				87

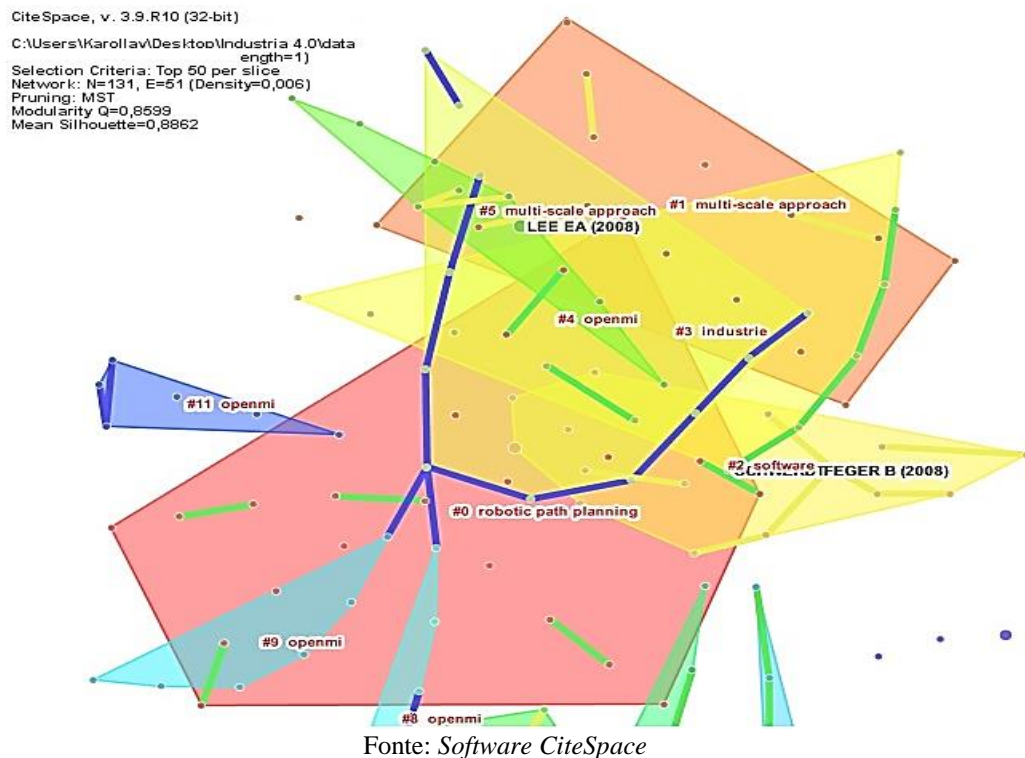
Fonte: elaborada pela autora

Tabela 2. Trabalhos publicados em congressos e conferências

	Science Direct	ISI WoS	SCOPUS	Total
Trabalhos publicados em congressos e conferências	-	58	74	132
Trabalhos identificados em mais de uma base	-	16	21	37
Total de trabalhos a serem analisados				95

Fonte: elaborada pela autora

Por meio da rede de citação elaborada a partir dos metadados extraídos, foi possível identificar os *clusters*: *industry*; *software*; *development*; *multi scale approach*; *robotic path planning and open modeling interface*. Os três primeiros *clusters* apresentam termos inerentes ao objetivo geral da pesquisa. Porém, os *clusters multi scale approach, robotic path planning e open modeling interface*, identificam oportunidades correlatas e complementares para o desdobramento de outras pesquisas complementares, sendo brevemente descritas nesta pesquisa. Os *clusters* podem ser identificados na Figura 3.

Figura 3. *Clusters* - desenvolvimento de *software* na indústria 4.0



Com o objetivo de entender as palavras chave encontradas nos *clusters*, o trabalho buscou a explicação de cada *clusters* por meio da teoria, sendo eles a abordagem multi escala, o planejamento de caminho robótico e o modelo de interface aberta. Sobre a abordagem ou controle multi escala, Li e Si (2017) discutem a complexidade multiescalar relacionada e o processamento de incertezas.

Uma organização geralmente tem mais de uma linha de produção contendo muitos tipos diferentes de processos. Cada processo pode integrar várias máquinas ou equipamentos. Todo o processo de manufatura pode ser considerado como uma estrutura hierárquica: do controle da máquina na camada inferior, passando pelo controle supervisorio de nível médio e pelo cronograma de produção, até o gerenciamento de negócios no mais alto nível. Diferentes propriedades são exibidas em diferentes níveis, por isso multi escala.

Penas *et al.* (2017) apresentam as principais questões de pesquisa relacionadas ao projeto de sistemas ciber-físicos e as necessidades de uma abordagem de projeto integrada e em multi escala para evitar conflitos entre diferentes domínios de projeto com antecedência suficiente no processo de desenvolvimento do CPS. O requisito de multi-escalabilidade técnica é descrito, sobre interações externas/internas, controle de processo, simulação de comportamento, representação de relações topológicas e interoperabilidade através de uma plataforma multi-agente, e então aplicado. A descrição holística proposta de um CPS de manufatura em multi escala permite delinear as principais características de uma plataforma de simulação de modelagem.

Cruz *et al.* (2019) comenta que embora os sistemas de produção ciber-física forneçam os meios para lidar com a complexidade e a flexibilidade, a migração com os sistemas de controle existentes ainda é um desafio. Nesse sentido, os padrões de design podem ajudar os desenvolvedores a criar seu *software* com soluções comuns para controle de fabricação derivadas de experiências, sendo esses os padrões de design dos sistemas multi-agente.

Li e Si (2017) mostram a dinâmica multi escala do sistema de manufatura moderno como uma estrutura funcional de várias camadas, como: escala multi-tempo, escala espaço-temporal e dinâmica multi-nível. A ação de controle será diferente em cada escala, algumas com mais *design*, outras com ação mais quantitativa ou qualitativa. Esses recursos exigirão que a ação de controle seja distribuída e integrada com diferentes abordagens, incluindo detecção inteligente, *design* ideal e aprendizado inteligente.

Outro agrupamento importante se refere à robótica. A um sistema de planejamento automático e inteligente, como o planejamento de caminho robótico. Um método baseado em inteligência artificial ou em inteligência computacional (CI), como algoritmos genéticos

(LARSEN *et al.*, 2017). Mineo *et al.* (2016) revisam as técnicas e questões associadas às técnicas convencionais de inspeção manual e sistemas automatizados para a inspeção de grandes superfícies complexas e propõe uma nova solução de *software* para permitir o planejamento de trajetória flexível para a inspeção de superfícies frequentemente encontradas na engenharia, por meio de um robô manipulador. Um método capaz de planejar caminhos complexos, evitar obstáculos e sincronização externa entre robôs e sistemas externos associados. Ainda no agrupamento, amplo e atual, da robótica tem-se:

- Dieber *et al.* (2018) discutem sobre como a robótica interfere nos processos em relação a segurança e proteção de dados;
- Vogel e Kerber (2017) trabalham com modelagem semântica de códigos para aplicativos de robô colaborativo;
- Galindo (2018) com o estudo da interface robótica;
- Velisek (2017) que mistura os conceitos de robôs, CAD e design;
- Liu, Wiesenhuetter e Noennig (2016) com os novos serviços robóticos;
- Petcharit, Sornsaruht e Pimdee (2020) com os conceitos de veículos elétricos e autônomos, entre outros.

Por fim, tem-se o modelo de interface aberta, segundo Moore *et al.* (2010), o padrão OpenMI (*Open Modeling Interface*) é uma definição de interface de componente de *software*. Foi originalmente concebido para facilitar a simulação de processos ambientais. Isso foi feito ao permitir que modelos, independentemente dos processos, trocassem dados durante a execução, dentro de um intervalo de tempo. No entanto, percebeu-se rapidamente que o OpenMI poderia ser transformado em uma solução genérica para o problema de troca de dados entre quaisquer modelos, não apenas modelos ambientais, mas componentes de *software*. Assim, ele poderia ser aplicado para vincular qualquer combinação de modelos, bancos de dados e ferramentas analíticas e de visualização. Martinez *et al.* (2017) estudaram os conceitos de desenvolvimento de plataforma aberta para indústria inteligente, voltada para a internet. Pfeiffer, Hellmers e Schoen (2016) com o uso das interfaces na indústria 4.0. Ding e Lin (2017) o uso da estratégia inteligente de controle das interfaces tecnológicas, Magedanz (2015) com os novos conceitos da tecnologia e Bougouffa *et al.* (2017) com as interfaces abertas dinâmicas.

Cerqueira, Ambrosio e Kirner (2019) discutem os desafios na aplicação de uma interface de usuário tangível para definir uma interação apropriada, além da falta de vocabulário para preparar artefatos físicos para serem manipulados na representação digital. Esses conceitos são essenciais para o controle das ferramentas de *software*, particularmente usadas nos estudos de

sistemas espaciais. Salehi (2020) trabalha no desenvolvimento de um conceito ágil em modelagens de interfaces para futuros produtos digitais. Assim, com os *clusters* delimitados, pode-se perceber que eles têm forte ligação com o controle, inteligência, automação e produção. No futuro da manufatura, todos os dispositivos e sistemas devem ter capacidade de detecção e inteligência básica para controle e adaptação. Sistemas inteligentes de manufatura devem ter as capacidades de flexibilidade, adaptabilidade e inteligência (LI; SI, 2017).

### 2.2.1.2. Temáticas, lacunas e tendências

Foram considerados os artigos dos anos de 2013 a 2020 encontrados nas três bases de dados. O Apêndice A apresenta os autores, ano e objetivos dos artigos em periódicos e o Apêndice B apresenta os autores, ano e objetivos dos trabalhos publicados em congressos e conferências.

Os elementos: tendências, temáticas, lacunas e requisitos, foram obtidos por meio da leitura detalhada dos artigos e trabalhos publicados em congressos e conferências. Esses elementos foram identificados nas conclusões, introduções e/ou desenvolvimento dos trabalhos referidos e agrupados em relação a sua similaridade e coesão. Por meio da evolução dos problemas de pesquisas obteve-se as tendências (Quadro 3).

Quadro 3. Tendências, seus autores e discussões

Tendências	Autores	Discussão
Conhecimento das técnicas e expansão para outras áreas	Patelay (2013), Kho (2013)	Com o crescimento da indústria 4.0 surge a necessidade de melhor domínio da abordagem.
Novas estruturas	Harpham, Cleverley e Kelly (2014), Schuh <i>et al.</i> (2014)	A indústria 4.0 implica em constantes mudanças e busca pelos melhores métodos e estruturas de processo.
Integração com processos e abordagens	Magedanz (2015), Jovanović <i>et al.</i> (2015), Fricke (2015)	Melhorias implicam em desenvolvimento teórico e prático e descobertas tecnológicas.
Conceitos tecnológicos, design e perspectivas	Mineo <i>et al.</i> (2016), Parida <i>et al.</i> (2016), Prause e Weigand (2016)	Novas tecnologias alinhadas a uma nova visão da indústria e do desenvolvimento corporativo.
Desempenho, paradigmas, novas técnicas	Ding e Lin (2017), Vogel e Kerbe (2017), Mueller, Chen e Riedel (2017)	Aumento de desempenho industrial, novas descobertas e técnicas inovadoras ditam o rumo organizacional moderno.
Expansão da inovação e dos estudos	Blanco <i>et al.</i> (2018), Telles, Vianna e Le Roux (2018), Sha, Xiao e Chen (2018)	Com as informação e tecnologia disponíveis a indústria em conjunto com as instituições de ensino e pesquisa desenvolvem novas metodologias.
Impactos e consequências das novas tecnologias	Harkushenko e Kniaziev (2019), Aceto, Persico e Pescapé (2019), Nicolae, Korodi e Silea (2019)	Novas tecnologias requerem atenção. As organizações buscam avanços em arquitetura de <i>software</i> , novos sistemas integrados e gerenciamento de inovação.
Nova geração de sistemas inteligentes e <i>software</i> integrados	Petcharit, Sornsaruht e Pimdee (2020), Salehi (2020), Marnewick e Marnewick (2020), Kabugo <i>et al.</i> (2020).	A atualidade é marcada por inovações estruturais. Destaque para veículos autônomos, internet de tudo, automação total do sistema de produção, robótica avançada e novas formas de liderança.

Fonte: elaborada pela autora

As tendências mostram o crescimento do conceito da indústria 4.0 e como ela, ainda em desenvolvimento, influencia fortemente as áreas tecnológicas industriais. Tem-se assim, o conhecimento das técnicas e expansão para outras áreas, o conhecimento das novas estruturas, a integração com os processos e abordagens, os conceitos tecnológicos, *design* e perspectivas e, por fim, as novas tendências relacionadas ao aumento de desempenho, novos paradigmas e técnicas e a expansão da inovação e dos estudos na área para o futuro.

Foram identificados os temas gerais em cada ano. Eles são: a definição das necessidades e requisitos para a implantação da indústria 4.0, as novas tecnologias e suas implicações práticas, o estudo da agilidade dos sistemas e *software*, as novas interfaces diante das mudanças na indústria 4.0, questões como a inovação, aplicação e a aprendizagem organizacional diante do ambiente instável e, por fim, os novos desafios e a complexidade da indústria 4.0 na nova era tecnológica. Os temas gerais são apresentados no Quadro 4, de modo a especificar os respectivos autores e o que é discutido sobre cada uma delas.

Quadro 4. Temas gerais, autores e discussões

Temas gerais	Autores	Discussões
Necessidades da indústria 4.0	Kho (2013), Patelay (2013)	Quais as características da nova revolução industrial, sua necessidades e consequências.
As novas tecnologias	Schuh <i>et al.</i> (2014), Harpham, Cleverley e Kelly (2014)	Crescimento da indústria 4.0 e das novas tecnologias.
Agilidade dos sistemas e <i>software</i>	Jovanović <i>et al.</i> (2015), Muller <i>et al.</i> (2015), Magedanz (2015)	Novas técnicas alinhadas à inovação e efetividade.
Interfaces e mudanças na indústria 4.0	Prause e Weigand (2016), Pfeiffer, Hellmers e Schoen (2016)	Desenvolvimento da tecnologia e das novas abordagens.
Inovação, aprendizagem e aplicação	Goguelin <i>et al.</i> (2017), Vila <i>et al.</i> (2017), Peters (2017)	Integração da indústria 4.0 com outras áreas e ferramentas.
Novos desafios da indústria 4.0	Rauch <i>et al.</i> (2018), Dieber <i>et al.</i> (2018), Blanco <i>et al.</i> (2018)	Desafios em lidar com as mudanças e com as novas tendências.
Complexidades da indústria 4.0	Tomiyama <i>et al.</i> (2019), Mazur <i>et al.</i> (2019), Oun, Benabdallah e Cherif (2019)	Mudanças nos padrões de gestão e tomada de decisão
Nova era tecnológica	Benabdellah, Benghabrit e Bouhaddou (2020), Kozjek <i>et al.</i> (2020), Liu <i>et al.</i> (2020)	Novas descobertas no campo das inovações e novas diretrizes tecnológicas

Fonte: elaborado pela autora

É importante comentar nestes temas o pensamento de risco atual, que inclui a possibilidade de oportunidade, o que poderia ter um efeito benéfico na obtenção dos objetivos organizacionais a longo prazo ou em um planejamento futuro. Os riscos como oportunidade se ligam às oportunidades tecnológicas, inovação e estratégia, pois a gestão envolve a identificação e gerenciamento de todas as fontes de incerteza que originam e moldam percepções de ameaças e oportunidades dentro das organizações (LEHTIRANTA, 2013). Essas influenciam, assim, a tomada de decisões e o futuro da empresa.

Quanto às novas interfaces e agilidade dos *software* embarcados, no contexto da modularidade relacionada ao desenvolvimento de sistemas, um dos primeiros artigos a citá-la, aborda a modularidade (PARNAS, 1972). O autor define modularidade como sendo a capacidade de dividir um sistema em partes independentes, conhecidas como módulos, que podem ser modificadas individualmente sem informações adicionais das outras, tendo como objetivo prover melhorias como a compreensibilidade do sistema. Os módulos são de fato independentes, a alteração ou adição de novos módulos não interferem no sistema (ou linguagem) como um todo, contribuindo com agilidade e praticidade no desenvolvimento ou manutenção (OLIVEIRA, 2017).

Identificou-se a importância da aprendizagem e da gestão da inovação e as novas e integradas metodologias, como *big data*, realidade aumentada e virtual e *cloud computing*, essas consideradas pilares da nova revolução industrial (WU; TERPENNY; SCHAEFER, 2017).

A Figura 4 mostra um resumo do que foi identificado nesse estudo por meio do mapa mental. Os artigos foram enumerados e elencados nos Apêndices do trabalho. Os números em negrito representam trabalhos publicados em congressos e conferências.

Figura 4. Mapa mental

Tendências				Clusters		
Quebrar barreiras 40,41,162,169,172	Performance industrial 24,26,30,147,150	Nova visão industrial 10,14, 165,166,167	Descobertas tecnológicas 5,6,154,157	Modelagem de interface aberta 5, 9, 24, 31, 142	Abordagem multi escala 28,29, 107, 147, 173, 177	Planejamento de caminho robótico 10, 26, 43, 56, 102,165, 172
Melhores métodos 4, 155,168,170	Domínio das abordagens 1, 91,105, 107, 111, 148	Impactos e consquências 61, 62, 74,175,	Nova geração de <i>software</i> 75,78,83,86,179	Desenvolvimento de <i>software</i> na indústria 4.0		
Temas gerais						
Desafios 39,40,152,154,155,157,159, 172	Integração industrial 22,21,32,147,148, 149	Desenvolvimento de tecnologia 9,11, 131,132,135, 144	Novas técnicas 5,7, 121, 123, 127 129	Implementação 1,2,4,17,27,28,34,35,36, 40,90, 95, 103, 108, 112, 113,121,123,142,144, 150,156,160,164,169	Nova engenharia 3,6,8,11,14,18,26,29,31,33 ,88,93,101,104,105,107, 118,125,130,141,152, 154,163, 166, 172	Integração 5,9,13,19,20,22,23,25, 37,91,96, 111, 129, 131, 132, 138, 139, 149, 153, 155, 161,165
Crescimento industrial 3,4, 108, 109, 113	Características da nova indústria 1,2, 88, 92, 97, 100,107	Complexidades 71,72,74,75, 176,180	Nova era tecnológica 87, 75,76, 178, 181	Abordagens 7,16,21,24,32,39,89,92,97, 98,100,109,110,114,115, 117,120,122,124,126,128, 133,136,137,143,146,148	Dificuldades tecnológicas 10,12,15,30,38,41,42,43, 94, 99, 102, 116, 119, 127, 134, 135, 140, 145, 147, 157, 159, 162, 167, 171	Flexibilidade 80, 82, 83, 84, 158,168,170, 174,182

Fonte: elaborada pela autora

Por meio da análise do mapa mental pode-se classificar os artigos e trabalhos publicados em congressos e conferências. Os critérios de classificação são referentes à metodologia, em sua grande maioria, à utilização de observação e análise em estudo de caso e o método de simulação, com ajuda de *software* em testes (MULLER *et al.*, 2015; MARZANO; FRIEL; ERKOYUNCU, 2015; DING; LIN, 2017). As áreas de aplicação são as mais amplas, porém, sempre referente a grandes áreas de pesquisa, como nas engenharias (LI; SI, 2017; LEE *et al.*, 2019; BENABDELLAH; BENGHABRIT; BOUHADDOU, 2020), industrial/metalúrgica (LOPEZ *et al.*, 2018; OUN; BENABDALLAH; CHERIF, 2019; LIU *et al.*, 2020), automotiva (KANNAN *et al.*, 2017), química (TELLES; VIANNA; LE ROUX, 2018) e na área de energias (BAUERDICK *et al.*, 2017; MARTIN *et al.*, 2019). Nesse sentido, percebe-se que para se aplicar os princípios de *software* na indústria 4.0, a grande maioria das empresas possuem médio a grande porte, ou pertencem a grupos de inovação e estudos como as vinculadas a organizações, universidades e *startups* ou empresas incubadas de tecnologia.

Nas lacunas identificadas percebe-se o aspecto temporal dos artigos e trabalhos publicados em congressos e conferências, além de um balanceamento na quantidade deles em cada lacuna. Na evolução temporal pode-se identificar que a implementação, nova engenharia, integração e abordagens aparecem em artigos mais antigos e estendem suas discussões e importâncias para os artigos atuais. Porém, a lacuna dificuldades tecnológicas é debatida a partir de 2016, diferentemente dos demais, entretanto também vem sendo mantida sua abrangência nos artigos atuais. Os trabalhos publicados em congressos e conferências, apesar de aparecerem em maior quantidade, abrangem os mesmos objetivos identificados nos artigos, seguindo a mesma tendência temporal. Os artigos referentes aos anos de 2019 e 2020 mostram a lacuna flexibilidade como elemento preponderante dos estudos na área.

Os temas gerais identificados e discutidos se ligam entre si e se ligam aos requisitos gerais encontrados na literatura (KEELEY, 2013; MAHIDHAR; SCHATSKY, 2013; OPENSHAW *et al.*, 2014). As características da nova indústria permeiam as mudanças estruturais, organizacionais e tecnológicas exigidas na indústria 4.0, sejam elas por meio de adequação da eficiência operacional ou da otimização do modelo de negócios, ou até de ambos. O desenvolvimento da tecnologia só ocorre com a adaptação e integração de novas técnicas no sistema produtivo. No contexto da indústria 4.0, isso se liga a ferramentas e tecnologias de controle de dados, segurança de TI, gestão da inovação, aplicações em nuvem, entre outros. Por fim, tem-se a indústria integrada.

Os princípios da gestão empresarial inovadora discutem sobre o negócio corporativo e aprendizagem organizacional como os norteadores dessa nova indústria, além da preocupação com gerenciamento de ciclo de vida, logística e cadeias de suprimentos inteligente e integradas e até a gestão da propriedade intelectual e das marcas.

Os requisitos gerais estão ligados às tendências também, visto que, para o alcance dos objetivos da indústria 4.0 tende-se a discutir mais sobre as barreiras que são quebradas com as novas técnicas e melhores métodos. Estes conceitos interferem na visão e na performance dessa nova indústria, tanto em questão de desempenho quanto de descobertas tecnológicas. As temáticas e tendências atuais recaem para elementos relacionados a entender a complexidade dos conceitos da indústria 4.0 e como as organizações se preparam para uma nova era tecnológica.

Os estudos apontam os impactos que a nova geração de *software* e programação deve trazer, sendo eles negativos ou positivos. Esse posicionamento organizacional está relacionado a aprendizagem organizacional e a eficiência operacional. A discussão sobre as novas tecnologias impactam na maneira como as organizações gerem suas abordagens e técnicas de inovação considerando intrinsecamente o desenvolvimento de *software* (BLOEM *et al.*, 2018).

### 2.3. DESENVOLVIMENTO DE *SOFTWARE* E ENGENHARIA DE REQUISITOS

*Software* pode ser definido como um produto desenvolvido por meio de padrões de qualidade e que possui uma documentação agregada, podendo ser composto por um ou vários programas (MILETTO; BERTAGNOLLI, 2014). Desenvolvimento de *software* é a atividade de criar programas de computação, executada por um desenvolvedor ou grupo de desenvolvedores. O desenvolvimento de *software* é um processo complexo e envolve várias etapas entre a concepção do projeto e a sua conclusão. As etapas principais são (HODA; SALLEH; GRUNDY, 2018):

- Levantamento de requisitos

Tem como objetivo compreender o problema, mostrando aos desenvolvedores e usuários a visão do que deve ser construído para resolução do problema. Desenvolvedores e clientes, em conjunto, buscam levantar e priorizar as necessidades dos futuros usuários do *software*.

- Análise de requisitos

Esta etapa, também chamada de especificação de requisitos, é onde os desenvolvedores fazem um estudo detalhado dos dados levantados na atividade anterior. De onde são construídos



modelos a fim de representar o sistema de *software* a ser desenvolvido.

- Projeto

Nesta fase deve ser considerado como o sistema funciona internamente para que os requisitos do cliente possam ser atendidos. Alguns aspectos devem ser considerados nessa fase de projeto do sistema, como: arquitetura do sistema, linguagem de programação, sistema gerenciador de banco de dados, padrão de interface gráfica, entre outros.

- Implementação

Nessa etapa, o sistema é codificado a partir da descrição computacional da fase de projeto em uma outra linguagem, onde se torna possível a compilação e geração do código-executável para o desenvolvimento de *software*.

- Testes

Diversas atividades de testes são executadas a fim de se validar o produto de *software*, testando cada funcionalidade de cada módulo, levando em consideração a especificação feita na fase de projeto. O principal resultado é o relatório de testes, que contém as informações relevantes sobre erros encontrados no sistema, e seu comportamento em vários aspectos. Ao final, os diversos módulos do sistema são integrados, resultando no produto de *software*.

- Implantação

A implantação compreende a instalação do *software* no ambiente do usuário. O que inclui os manuais, importação dos dados e treinamento dos usuários para o uso correto e adequado do sistema. Em alguns casos quando tem-se um *software* anterior, também é realizada a migração de dados.

Se tratando do desenvolvimento de *software*, segundo Johnson (2001), o seu sucesso está baseado em uma concentração de esforços, os quais abrangem desde o suporte executivo, gerentes de projetos experientes, objetivos de negócios claros e definidos, além de um escopo mínimo de projeto. Dessa maneira uma metodologia de desenvolvimento de *software* torna-se uma boa prática, pois estabelece ordem nas atividades com o intuito de possibilitar a conclusão de objetivos/tarefas além de oferecer suporte ao gerenciamento.

Em grande parte das organizações o processo de desenvolvimento de *software* está baseado em modelos e guias voltados para a gerência de projetos como o PMBOK - *Project Management Body of Knowledge Guide* (PMI, 2018). Em contrapartida os métodos ágeis de desenvolvimento de *software* vêm ganhando atenção da indústria de *software*, em decorrência de sua proposta de liberação do produto de forma mais rápida em relação aos modelos prescritivos (PRESSMAN; MAXIM; BRUCE, 2016), entre os métodos ágeis o *Scrum* se

destaca pela sua flexibilidade de utilização.

O método *Scrum* segue os princípios do Manifesto Ágil de Beck *et al.* (2001). O *Scrum* defende o uso de equipes pequenas, é iterativo e incremental. Esse método ágil foi criado com o intuito de controlar e gerenciar o processo de desenvolvimento de *software* em ambientes em que os requisitos sofrem mudanças constantes (STOPA; RACHID, 2019). Assim, o *Scrum* é um método ágil flexível que permite com que as etapas de análise, projeto, codificação e teste sejam utilizados de acordo com as necessidades de cada organização.

Um dos desafios na área de desenvolvimento de *software* está na complexidade da compreensão das expectativas do cliente por meio da análise dos problemas e da criação de soluções. A literatura mostra que uma considerável parcela dos problemas relacionados são derivados de má administração ou de mau gerenciamento do processo de desenvolvimento do *software* (HODA; SALLEH; GRUNDY, 2018).

Existe uma forte demanda mercadológica por agilidade, qualidade e eficiência dos *software*. Na área da tecnologia deve-se considerar que o desenvolvimento de *software* é um processo criativo, que reúne profissionais com talentos e conhecimentos diferenciados tendo como objetivo a construção de um produto de valor (SOMMERVILLE, 2020).

Atrelado a essas questões, tem-se a discussão sobre a engenharia de requisitos, parte essencial do processo. A engenharia de requisitos é o processo pelo qual os requisitos de um produto de *software* são coletados, analisados, documentados e gerenciados ao longo de todo o ciclo de vida do *software* (MILETTO; BERTAGNOLLI, 2014). Os requisitos possuem um papel fundamental para o desenvolvimento de *software*. Eles são uma das principais medidas de sucesso de um *software*, são também a base para estimativas, modelagem, projeto, implementação, testes e até mesmo para a manutenção (SOMMERVILLE, 2020).

No início do projeto tem-se que levantar os requisitos, entendê-los e documentá-los. Deve-se também realizar atividades de controle da qualidade para verificar, validar e garantir a qualidade dos requisitos. Outra medida é gerenciar a evolução dos requisitos, visto que os negócios são dinâmicos. Dessa forma deve-se manter a rastreabilidade entre os requisitos e os demais artefatos produzidos no projeto (MILETTO; BERTAGNOLLI, 2014).

As atividades dessa etapa ocorre por meio do: levantamento, análise e documentação de requisitos, gerência de requisitos e, por fim, o controle da qualidade através da verificação, validação e garantia da qualidade de requisitos (PRESSMAN; MAXIM; BRUCE, 2016). Todo o processo de desenvolvimento de *software* e da engenharia de requisitos atualmente, sofre a influência da nova realidade para o desenvolvimento de *software* demandada pela indústria 4.0 (LONGO; NICOLETTI; PADOVANO, 2017). Assim, os processos devem utilizar o máximo

de tecnologia embarcada e sensores, além de tecnologia de ponta e integrada. Os processos da indústria 4.0 demandam novos requisitos tecnológicos para empresas que desejam desenvolver *software* nos moldes atuais, que são flexíveis e inovadores (XU *et al.*, 2019).

A sistemática desenvolvida nessa tese, está relacionada a importância da gestão estratégica que deve ocorrer antes da etapa de planejamento, sendo uma fase de pré desenvolvimento (SALGADO, 2011). O desenvolvimento de *software* deve considerar os aspectos estratégicos no contexto da indústria 4.0, assim a sistemática consiste no estabelecimento de diretrizes estratégicas, definidas no trabalho como requisitos gerais da indústria 4.0. Essa etapa é essencial para que se tenha os dados de como realizar as atividades tecnológicas demandadas pela organização. Nesse sentido tem-se a determinação estratégica dos requisitos gerais para o desenvolvimento de *software* na indústria 4.0.

#### 2.4. REQUISITOS GERAIS

Os requisitos gerais, assim como as práticas da indústria 4.0 são fundamentadas em regulamentações e guias. O desenvolvimento de *software*, assim como seu aperfeiçoamento, deve considerar o contexto atual da indústria 4.0. O desenvolvimento de *software*, dependendo da área, possui normas básicas específicas, que aplicadas aos *software*, visam assegurar a conformidade e a qualidade final dos produtos.

A discussão sobre a qualidade e regulamentação da produção e de *software* é abordada por vários segmentos industriais, onde a qualidade do produto afeta diretamente a vida humana, como por exemplo o de alimentos e medicamentos (OLIVEIRA *et al.*, 2016). A demanda por medicamentos vem aumentando de forma significativa, ao mesmo tempo em que agências reguladoras tornam mais rigoroso o processo de aprovação de novos medicamentos. A forte regulamentação traz muitos desafios ao setor, exigindo das empresas o direcionamento dos esforços para assegurar que os rigorosos padrões de qualidade e conformidade sejam atendidos, tanto em nível de produto, quanto em nível de *software* (NALLY, 2016).

A normatização em nível de desenvolvimento de *software* nas empresas alimentícias e de medicamentos se manifesta por meio de um conjunto de regras e normas. Nesse sentido, ocorre a análise do CFR, ou *Code of Federal Regulations*. O Código de Regulamentos Federais é a codificação das regras e regulamentos gerais e permanentes publicados no Registro Federal pelos departamentos e agências executivas do governo federal dos Estados Unidos. O CFR é dividido em 50 títulos que representam grandes áreas sujeitas a regulamentação federal (CRF, 2013). O FDA (*Food and Drug Administration* dos Estados Unidos) estabeleceu a Parte 11 do

título 21 do *Code of Federal Regulations* (FDA 21 CFR Part 11), que contém requisitos de segurança e conformidade de produtos para empresas do segmento de ciências da vida. As empresas aplicam o FDA 21 CFR Parte 11 para melhorar a segurança e confiabilidade dos sistemas de TI (McKINNEY, 2006). Assim, ela trabalha com os conceitos das boas práticas de laboratórios e testes, rótulos, embalagens, publicidade e *marketing* de medicamentos, Lei de Serviços de Saúde Pública, dispositivos médicos, entre outros.

No segmento aeronáutico, uma das normas que regulamentam a conformidade dos produtos envolvendo o desenvolvimento de *software* é a ISO/IEC 29100: 2011, ela fornece uma estrutura que especifica uma terminologia de privacidade comum; define os atores e suas funções no processamento de informações de identificação pessoal; descreve as considerações de proteção da privacidade; e fornece referências a princípios de privacidade conhecidos para tecnologia da informação. Ela é aplicável a pessoas físicas e organizações envolvidas na especificação, aquisição, arquitetura, projeto, desenvolvimento, teste, manutenção, administração e operação de sistemas ou serviços de tecnologia de informação e comunicação onde controles de privacidade são necessários (DROZD, 2015).

Quanto a proteção de dados, tem-se a norma ISO/IEC 27000:2018 que fornece a visão geral dos sistemas de gerenciamento de segurança da informação e os termos e definições comumente usados na família de normas ISO/IEC 27001. Foi projetada para ser aplicável a todos os tipos e tamanhos de organização de negócios, porém é muito usada nas áreas que demandam uma grande quantidade de dados protegidos, como a aeronáutica (DISTERER, 2013).

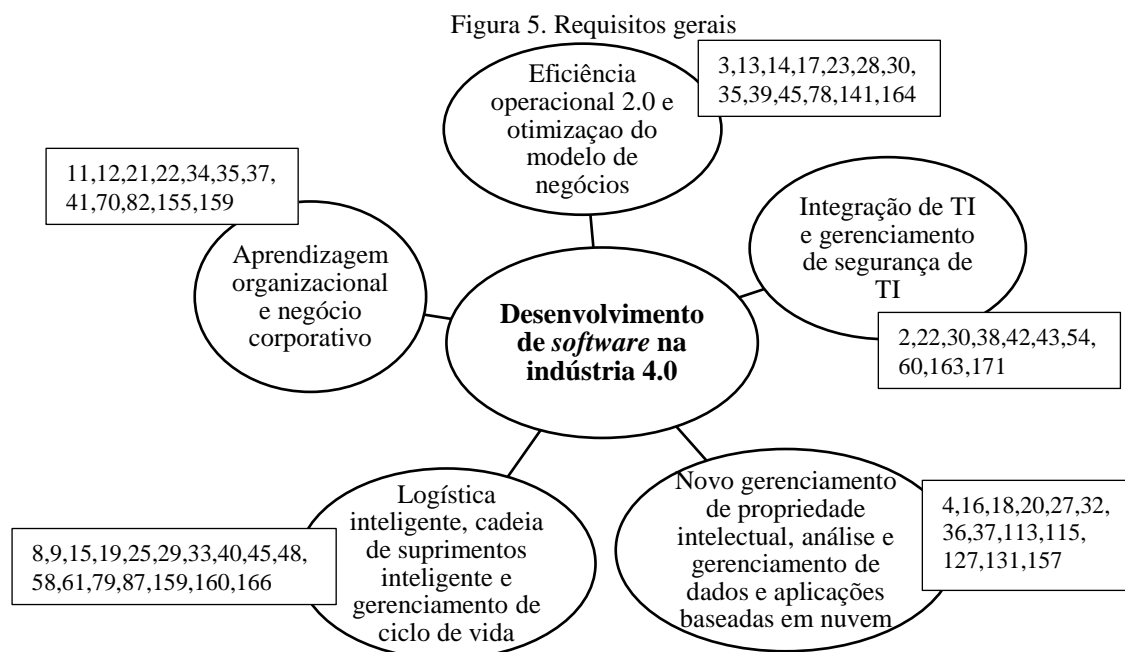
A maioria das áreas e empresas de tecnologia utilizam o *Capability Maturity Model Integration* (CMMI), um modelo de referência que contém práticas necessárias à maturidade em engenharia de sistemas e engenharia de *software*. O CMMI foi baseado nas melhores práticas para desenvolvimento e manutenção de produtos. O MPS-BR ou Melhoria de Processos do *Software* Brasileiro, é um modelo de qualidade de processo criado pela Associação para Promoção da Excelência do *Software* Brasileiro para melhorar a capacidade de desenvolvimento de *software* nas empresas brasileiras. Para a definição do MPS-BR levou-se em consideração normas e modelos internacionalmente reconhecidos como CMMI e nas normas ISO/IEC/IEEE 12207 e ISO/IEC15504 (KALINOWSKI *et al.*, 2010).

Por fim, é preciso comentar sobre a qualidade de *software* que é a área do conhecimento da engenharia de *software* que refere-se a: características desejadas de produtos de *software*, extensão em que um produto de *software* em particular possui essas características, e aos processos, ferramentas e técnicas que são usadas para garantir essas características. A série de

normas ISO/IEC 25000, também conhecida como Requisitos e Avaliação de Qualidade de Sistemas e *Software*, tem o objetivo de criar uma estrutura para a avaliação da qualidade de produtos de *software* (ROA; MORALES; GUTIÉRREZ, 2015). A ISO/IEC 25000 é o resultado de vários outros padrões de projetos, principalmente da ISO/IEC 9126, que define um modelo de qualidade para avaliação de produtos de *software*, e ISO/IEC 14598, que define o processo para avaliação de produtos de *software* (KOH, 2016).

A qualidade do produto, por sua vez, juntamente com a qualidade do processo, são alguns dos aspectos mais importantes do desenvolvimento de *software* atualmente. E dentro deste contexto, a ISO/IEC 25000:2014, configura-se como uma das normas mais importantes a respeito de caracterização e medição de qualidade de produto de *software* (RAMOS *et al.*, 2018). É importante frisar que esta norma não está concluída, mas sim, em plena construção. Posto as normas e regulamentações, que devem ser considerados no contexto de cada organização ao desenvolver seus *software*, estes requisitos legais são relevantes mas também é oportuno acrescentar as demandas desafiadoras da indústria 4.0 que nesta tese foram considerados como requisitos gerais.

Foram identificados os requisitos gerais do desenvolvimento de *software* na indústria 4.0 e esses foram agrupados por afinidade. A verificação do agrupamento será detalhada no Capítulo 3 e sua validação nos Capítulos 4 e 5. A Figura 5 organiza visualmente os requisitos gerais por meio do mapa mental, além de estabelecer os artigos. Os números elencados referem-se aos artigos que são identificados nos apêndices do trabalho. Também foram desenvolvidos os conceitos sobre cada um dos requisitos e suas implicações práticas e teóricas.



Fonte: elaborado pela autora

## **Eficiência operacional**

A eficiência operacional é relacionada com a capacidade de uma empresa em fornecer produtos ou serviços de maneira mais econômica, sem que isso prejudique a qualidade, serviço ou suporte. A simplificação dos processos internos de uma organização pode ajudá-la a alcançar a eficiência operacional e também permite que ela responda efetivamente às forças de mercado em constante mudança (TANG; YANG, 2016). A eficiência operacional é a comparação entre as entradas e as saídas de uma empresa, sendo que: por entrada (ou *input*) refere-se aos custos, pessoas, tempo e trabalho envolvidos na produção de um bem ou serviço; saída (ou *output*) é o próprio serviço executado ou produto produzido (RAUCH *et al.*, 2018).

O cenário ideal de eficiência é quando se investe nas entradas, mas os retornos obtidos com os produtos ou serviços são mais altos do que os investimentos realizados. Por isso, a eficiência operacional é a maneira de garantir que os investimentos produzam um retorno sustentável (TANG; YANG, 2016). Quando a empresa atinge a máxima eficiência, haverá um retorno maior sobre seus investimentos. O aumento da eficiência operacional ocorre quando consegue-se ter o máximo de retorno com as entradas. Uma dessas formas ocorre por meio do *lean office*.

Originário do inglês, *lean* significa enxuto. Os princípios *lean* evoluíram a partir do Sistema Toyota de Produção. O sistema visa fornecer ao cliente a melhor qualidade com o menor custo em um tempo de espera mais curto por meio da eliminação de sete tipos de desperdícios: superprodução, tempo de espera, transporte, excesso de processamento, inventário, movimento e defeitos (WILSON, 2010). O objetivo do *lean* é acelerar a velocidade de qualquer processo, reduzindo o desperdício em todas as suas formas. O *lean office* é a metodologia que tem como foco a redução de custos e despesas sem afetar a qualidade dos resultados. Entre os desperdícios tem-se: falta de padronização; longos e imprevisíveis *lead time* das atividades; erros nos dados de entrada; produção de documentos ou relatórios desnecessários; tarefas manuais que poderiam ser automatizadas via sistema ou aplicativos (KAMBLE; GUNASEKARAN; DHONE, 2020).

A metodologia *lean* está relacionada com eficiência operacional, uma vez que visa aprimorar os processos de uma empresa para obter o máximo de retorno com suas entradas. Essa cultura da eficiência pregada pelo *lean office* tem, dentre seus objetivos, permitir que o orçamento empresarial tenha espaço para mais investimentos e melhorias, o que é uma das importâncias da eficiência operacional (PACHECO, 2014).

Para as empresas a produção eficiente é um elemento importante. Isso inclui a otimização de equipamentos e processos para que sejam produzidos o maior número possível de produtos de qualidade com o tempo e o dinheiro investidos. No contexto da indústria 4.0, todas essas atividades ganham o avanço da tecnologia e da robotização, alcançando novos patamares de eficiência em operações, sistemas e *software* (KAMBLE; GUNASEKARAN; DHONE, 2020).

### **Otimização do modelo de negócios**

O surgimento de um novo espaço conceitual decorrente da pulverização e acessibilidade à internet resulta em significativas transformações na sociedade. Essas mudanças vão além dos novos hábitos de compras ou nas formas de comunicação. Elas desafiam as empresas a repensarem o que é modelo de negócio, como atingir o novo consumidor e como penetrar nos novos nichos de mercado (MA *et al.*, 2017).

Esse novo espaço conceitual trouxe a exigência de mudanças na forma de organizar os negócios que surgem e que precisam ser modelados sob uma nova ótica uma vez que critérios adotados na era industrial já não podem ser considerados nesta nova era do conhecimento. No processo, surgem corporações que iniciam suas transações comerciais baseadas no ambiente virtual, denominadas de empresas ponto com também chamadas pelo termo em inglês *dot com* (ORAL; AKKAYA, 2020).

A comercialização das ações das empresas ponto com é feito através do Pregão Automático da Associação Nacional dos Corretores, o primeiro mercado acionário eletrônico do mundo, e que ganhou fama de mercado que negocia ações das empresas do futuro, ou seja, fabricantes de computadores, *software*, chips, cabos de fibra óptica, biotecnologia, entre outros. As empresas ponto com, associadas às empresas de alta tecnologia, viram suas ações crescerem vertiginosamente em um curto espaço de tempo, resultando em uma supervalorização das mesmas (ORAL; AKKAYA, 2020). Tais empresas não precisam de estratégia, nem de competências especiais e tampouco de clientes, basta um modelo de negócio baseado na *web* com promessas de lucros no futuro. Decorrente deste movimento surgiu o conceito de modelo de negócio como uma síntese para caracterizar a forma de como as empresas ponto com atuam nesse novo mercado.

Neste período, vários negócios começaram a surgir tendo a internet como meio de impulsionamento. É nesta fase que o conceito de modelo de negócio começou a ser difundido e abrangeu empresas de diferentes tamanhos e segmentos. Além disso, a evolução da tecnologia que transformou a forma de se comunicar, permitiu que as empresas implantassem outras

possibilidades de negociação, gerando um novo conceito de valor para o cliente (CHEN, TAI; CHEN, 2017).

De acordo com Osterwalder e Pigneur (2010), modelo de negócio pode ser conceituado como a descrição da lógica de como uma organização cria, distribui e captura valor. Os modelos de negócio relacionados à visão tradicional das organizações têm se tornado inadequado às organizações do conhecimento. Esse distanciamento ocorreu justamente pelo ritmo crescente de mudanças radicais e imprevisíveis no ambiente empresarial. De forma que, as organizações que pretendem continuar crescendo de forma sustentável, precisam reformular a natureza do negócio e mudar o *mindset* necessário para a inovação e manutenção do diferencial competitivo.

Nas organizações, a origem do valor está na criação de conhecimento e na utilização do conhecimento dos clientes e colaboradores, que determinam o *design* da inovação do modelo de negócio. Em um mundo onde mercado, produtos, tecnologias, concorrentes e a própria sociedade mudam de forma tão ágil, a inovação contínua e o conhecimento tornaram-se uma vantagem competitiva sustentável para as organizações (GIOURKA *et al.*, 2019).

Otimizar é criar condições favoráveis para que algo seja feito da melhor maneira possível. Portanto, pode-se dizer que a otimização de modelos de negócios é um conjunto de medidas que se propõem a aumentar a eficiência organizacional. Porém, existem muitas dificuldades em otimizar os processos. Quanto maior a estrutura mais complexa se torna a missão de ganhar eficiência e produtividade por meio da otimização de processos e modelos de negócios (GIOURKA *et al.*, 2019).

## **Integração de TI**

O setor de TI de uma empresa era considerado como área de apoio para a operação principal do negócio. Sendo o setor que mantinha o funcionamento dos processos para que os outros departamentos pudessem trabalhar. A transformação digital trouxe a tecnologia para o centro do planejamento e o redesenho de processos e ferramentas se tornou vital para a competitividade e para a busca de novos mercados (LOPEZ *et al.*, 2018).

Atualmente o setor de TI tornou-se o principal meio de inovação e empreendedorismo, mas só é possível assumir esse papel quando se está integrado ao resto da empresa, com soluções e práticas que conversem entre os departamentos e facilitem o caminho entre boas ideias e bons produtos por toda a cadeia operacional (XU *et al.*, 2019).

Gestores e diretores precisam repensar a forma como posicionam seus departamentos de TI estrategicamente. É difícil atingir o máximo da transformação digital se a equipe responsável pela área é apenas reativa. O time de TI deve estar integrado também nas decisões sobre o futuro



do negócio (BAUERDICK *et al.*, 2017). É preciso usar o poder do setor para estratégia e planejamento, de modo a disputar com concorrentes mais ágeis, enxutos e flexíveis.

Em um novo momento do mercado de busca por nichos e especialização de serviços, a inteligência de negócio para criar otimização, redução de custos e capacidade de manobra é a diferença entre encontrar novas oportunidades de crescimento e perder em qualidade de entrega. E a área de Tecnologia da Informação assume uma função vital para garantir o sucesso. É dela que vem as metodologias mais adequadas para mensurar resultados e avaliar a saúde da empresa, além das ferramentas para interpretar dados, criar relatórios e apontar caminhos possíveis (BOLOGA *et al.*, 2017).

A filosofia de construir, medir e aprender das *startups* (*Build-Measure-Learn*) é parte essencial para toda empresa que busca iteração em seu produto, resultados rápidos e estratégias mais flexíveis. Sem um bom suporte tecnológico se torna difícil aderir as tendências (ZORZETTI *et al.* 2020).

Existem argumentos a favor de uma integração completa entre um setor estratégico de TI e os outros departamentos da empresa, tanto administrativos quanto operacionais. A inserção do TI à frente do planejamento e operação traz, para toda empresa, uma aproximação em questão de colaboração, comunicação e otimização de processos. As soluções tecnológicas fazem a ponte entre as tarefas e criam um caminho único e fácil de se guiar. Assim, qualquer funcionário sabe como está contribuindo para que a empresa alcance seus objetivos. O departamento de TI estratégico pode tornar a identificação de problemas e a busca por respostas mais rápida e fácil, usando tecnologia para ajustar toda a operação em torno de uma solução em comum (PATELAY,2013).

A TI integrada à operação cria um ambiente de monitoramento, otimização e colaboração para melhorar o desempenho geral da empresa. Esse é um ganho visto tanto nas decisões da equipe quanto nas ferramentas, que unem todas as demandas em soluções centralizadas de controle, principalmente na comunicação entre funcionários e na automação de processos. Em uma empresa bem estruturada, aumentar a produtividade sempre significa reduzir custos. Além disso, uma TI que mede e interpreta dados de performance oferece aos gestores e diretores planos de ação que possibilitam fazer mais gastando menos. Essa economia se dá no desenvolvimento ou na contratação de serviços que agilizam a operação, reaproveitam equipamentos dispensáveis e diminuem toda a estrutura física da empresa (LOPEZ *et al.*, 2018).

Não é só na produção que essa integração traz benefícios à empresa. O marketing também pode ser profundamente afetado por uma boa gestão tecnológica. Com uma TI participativa nas decisões do negócio, aumentam a qualidade e a relevância dos dados coletados sobre

comportamento de público, momento de mercado e demandas não atendidas. A automação das pesquisas e da análise de informações é a fonte de todo o planejamento estratégico em uma competição por novos nichos e soluções lucrativas. E são esses dados que podem trazer mais poder para os setores de marketing e de vendas. As campanhas de uma empresa com TI integrada são mais direcionadas e têm uma taxa de conversão maior (WEILL; ROSS, 2020).

A transformação digital dentro das empresas trouxe novos desafios e oportunidades que podem ser desenvolvidos por meio da tecnologia de ponta. A TI reativa do passado se tornou um desperdício de dinheiro, de pessoal e de soluções de negócio. A integração de TI é a forma que os gestores podem trazer inteligência, otimização e flexibilidade para seus negócios (WEILL; ROSS, 2020).

### **Gerenciamento de segurança de TI**

A sociedade passa por mudanças na forma como lida com a informação. Na era da transformação digital, os dados se tornam ativos para as empresas, sendo capazes de gerar valor para o negócio. Realizar uma boa gestão em segurança da informação é fundamental. Se os dados captados e armazenados, seja no ambiente físico, seja no digital, podem gerar benefícios, um vazamento ou uso indevido também traz consequências ruins. Logo, adotar estratégias para mantê-los protegidos e acessíveis é parte da rotina de todo gestor (KIESEBERG; WEIPPL, 2018).

O conceito de segurança da informação se refere à proteção de um determinado conjunto de dados para preservar o valor que ele possui, seja para um indivíduo, seja para uma organização. Nesse sentido, a gestão é a prática de adoção de estratégias, métodos, ações e ferramentas para alcançar esse objetivo (LI *et al.*, 2019). O papel do gestor está diretamente relacionado por isso. Cabe a ele definir de que forma a segurança da informação será tratada, sistematicamente. É preciso planejar a estratégia e monitorar o cumprimento das práticas adotadas pela empresa. Para nortear esse processo, é importante ter em vista os quatro pilares da segurança da informação: confidencialidade; integridade; disponibilidade; autenticidade. Isso significa que as informações devem ser mantidas continuamente ao alcance de quem está autorizado a acessá-las e, ao mesmo tempo, protegidas contra vazamentos, ataques e danos em geral (SARKER *et al.*, 2020).

A empresa deve definir quais são os pontos de controle e as possíveis ameaças. No primeiro caso, a infraestrutura de TI (*software e hardware*), as redes lógicas e até mesmo os dados pessoais devem fazer parte desse escopo. Já as ameaças podem variar de acordo com esses pontos de controle e a dinâmica de trabalho da companhia. Sistemas de *e-commerce* (lojas

virtuais), por exemplo, dependem de estabilidade da rede para que a empresa funcione normalmente. Uma queda de servidor pode colocar em risco as informações que ele utiliza. Outra forma de ameaça é o ataque direcionado por *e-mail (phishing)* ou *malware* em geral (LI *et al.*, 2019).

A gestão define, então, as melhores práticas de segurança a serem adotadas por todos os colaboradores. O uso de *e-mail* e a navegação na internet podem ser limitados de acordo com aquilo que for considerado adequado para a companhia. O mesmo se aplica ao acesso à rede da empresa, seja via *Wi-Fi* em dispositivos móveis, seja por cabos de rede, USB, etc. Para complementar, são adotadas ferramentas de segurança e monitoramento. Destacando-se a infraestrutura de segurança digital (*firewall*, antivírus, *antiphishing* etc.), um sistema de *backup* e a computação em nuvem. São formas de aumentar a barreira de proteção e criar um ambiente mais seguro para as operações da empresa (TSUCHIYA *et al.*, 2018).

As práticas e ferramentas compõem a política de segurança da informação. Ainda assim, a real eficiência dessa estratégia depende diretamente da adoção de uma ferramenta focada na própria gestão de TI (DIEBER *et al.*, 2018). Um Sistema de Gestão de Segurança da Informação (SGSI) é uma ferramenta corporativa para abordagem organizacional da questão. Implementá-lo significa adotar estratégias, políticas, planos, controles, medidas e diversos outros mecanismos de gestão. Sua estrutura pode ser elaborada de acordo com a norma ISO 27001. A adoção de uma solução de gestão tem como objetivo viabilizar tudo o que for necessário para implementação, operação e monitoramento da segurança da informação (BHAMARE *et al.*, 2020).

O uso otimizado dos recursos tecnológicos da empresa depende diretamente da capacidade da TI de gerenciá-los. Isso envolve elaborar um inventário de *hardware* e *software*, monitorar o uso da rede, treinar os funcionários, estudar as novas ameaças e os meios de neutralizá-las. Nesse sentido, um *software* de gestão potencializa o SGSI, aumentando o alcance da visão do gestor para que ele possa tomar decisões baseadas em dados mais confiáveis. Assim, se algo acontece e coloca em risco a segurança dos dados, as respostas são mais rápidas e efetivas (KIMANI; ODUOL; LANGAT, 2019).

O destaque está na importância de não só treinar as equipes da empresa, mas também de conscientizar cada colaborador sobre as ameaças e os riscos que elas representam. O engajamento coletivo é crucial para o sucesso da política de segurança da informação. O assunto deve ser tratado abertamente, em treinamentos e outros eventos que promovam o debate e a educação (MUELLER *et al.*, 2017).

Um ponto a ser destacado é a redução dos riscos aos quais a empresa está exposta. Os sequestros de dados com *ransomware* nos últimos anos mostraram ao mundo o tamanho do problema. Estima-se que o prejuízo desses *ciberataques* foi de mais de US\$ 8 bilhões em 2018, um rombo que levou diversas companhias à falência. A gestão em segurança da informação representa a adoção de práticas mais robustas de proteção. Nesse sentido, ela promove ainda um alinhamento da TI às estratégias de negócios da empresa. Com mais segurança para operar no mercado, é possível estabelecer parcerias comerciais ainda mais saudáveis (BHAMARE *et al.*, 2020).

Por fim, vale destacar que uma gestão eficiente coloca a empresa em ritmo de melhoria contínua em relação ao uso dos recursos de TI. Com o hábito de monitorar a segurança dos dados e estudar novos meios de utilizá-los, a tendência é que a tecnologia seja uma aliada importante, evoluindo junto com as necessidades do negócio. São medidas que tendem a fomentar uma cultura da inovação na empresa. Por isso, investir na gestão em segurança da informação é minimizar os riscos de incidentes. A valorização dessas medidas pode ser sentida no ambiente de trabalho e no próprio mercado (KIMANI; ODUOL; LANGAT, 2019).

### **Novo gerenciamento de propriedade intelectual**

Na era do conhecimento, as vantagens competitivas são baseadas na capacidade de inovação, determinada pelas condições de funcionamento do sistema de inovação. Dados de patente surgem como vantagem competitiva por serem ótimos indicadores da capacidade de inovação tecnológica, fornecendo informações detalhadas sobre as atividades tecnológicas dos países (SILVA *et al.*, 2020) .

As bases de dados computadorizadas facilitam o acesso e a análise do conteúdo dos documentos de patente, que contêm um conjunto rico e detalhado de informações que não podem ser encontrados em nenhum outro lugar, e o uso adequado dessas informações para a análise econômica leva em consideração diversos problemas metodológicos como as diferenças entre um país e outro, o papel das multinacionais e as especificidades de certas tecnologias e setores econômicos (SIVANATHAN *et al.*, 2018).

É o documento oficial para proteger uma produção ou processo para assegurar a posse de um bem econômico. Após a proteção das invenções, os inventores são obrigados a disponibilizar as informações tecnológicas, a fim de conceder benefícios advindos da invenção à sociedade. O marco relevante da proteção legal das patentes foi a criação da Lei de Propriedade Industrial, promulgada em 1996 (Lei nº 9.279/96), que incorporou uma série de

alterações como resultado de conceitos modernos discutidos internacionalmente em acordos e convenções (SILVA *et al.*, 2020).

A caracterização de uma propriedade intelectual (PI) está limitada a sua condição afirmativa sob um conjunto de requisitos, tais como: novidade, utilidade, tangibilidade e legalidade. O exemplo mais comum e a principal fonte transaccional de PI refere-se as patentes, todavia, as marcas registradas, *copyrights* e segredos comerciais também constituem no seu respectivo arcabouço (CHESBROUGH, 2012).

No contexto da inovação aberta, o gerenciamento de PI fortalece a sistematização dos processos de acesso às fontes externas, pois confere segurança jurídica e comercial às expectativas de compra e venda de conhecimentos negociáveis. Afinal, quando uma empresa negocia conhecimentos com outras empresas, instituições de pesquisa, universidades etc., espera obter vantagens e mitigar, sobretudo, os riscos técnicos e mercadológicos. Todavia, as conexões externas, trazem outros tipos de riscos voltados à perda de conhecimento; perda de controle ou domínio; incompatibilidade cultural; falta de comprometimento; vazamento de informações; confiança insuficiente etc. O gerenciamento da PI regulamenta o conhecimento e reduz a exposição das empresas aos riscos da colaboração (CHESBROUGH, 2012).

Para Chesbrough *et al.* (2011), na gestão da inovação, a carteira de PI é considerada parte importante do portfólio de produtos e serviços, uma vez que agrega valor econômico, porque, as tecnologias e conhecimentos internos que não interessam aos negócios podem e devem ser negociadas com terceiros.

Os mesmos autores consideram que o conhecimento acerca das patentes apoia à tomada de decisão em relação aos riscos presentes no negócio, ao mesmo tempo que auxilia na identificação de oportunidades e nichos tecnológicos, amparando as empresas na manutenção de seus modelos de negócio ou, até na reconfiguração dos mesmos, quando necessária. De uma maneira geral, o gerenciamento da PI pode contribuir para: identificação de áreas de oportunidades que auxiliem as empresas na introdução de produtos e serviços que se beneficiem do portfólio de PI; melhoria nas relações com os fornecedores e consumidores; negociação com mercados secundários de inovação e suas respectivas PIs associadas; administração dos fluxos de receitas advindas da inovação; enfoque às fases que obedecem ao ciclo de vida da tecnologia na empresa. Nesse sentido, a gestão da PI é uma ferramenta estratégica eficaz em um modelo aberto de inovação.

### **Análise e gerenciamento de dados**

A análise de dados tem sido cada vez mais importante para o sucesso organizacional. Para que a empresa se destaque em termos de concorrência, é necessário reunir e analisar informações sobre clientes e o mercado como um todo. Sendo assim, em diversos aspectos, fazer o gerenciamento de dados de forma inteligente é importante para o sucesso dos negócios e para atingir um nível sustentável de crescimento (GOGUELIN *et al.*, 2017).

Gerenciamento de dados é baseado em coletar, validar, armazenar e garantir a segurança dos dados para poderem ser transformados em informações úteis. Decisões importantes fundamentadas em dados errôneos pode ser perigoso, por isso deve-se ir além e analisar cada detalhe da base de dados para qualificar o processo de tomada de decisões, que não deve ser realizado de maneira precipitada (RAS *et al.*, 2017).

Quando todas as informações das quais precisa-se estão bem organizadas e devidamente armazenadas, de forma integrada e ordenada, arquivos como projetos, balanços financeiros, prospecções de vendas e outros documentos importantes são encontrados com maior facilidade no sistema (GOGUELIN *et al.*, 2017).

### **Aplicações baseadas em nuvem**

As aplicações em nuvem são *software* que os usuários acessam principalmente pela internet. Isso significa que pelo menos uma parte da aplicação é gerenciada por um servidor, e não pela máquina local do usuário. Ao adotar estratégias de desenvolvimento de aplicações nativas em nuvem, as equipes de desenvolvimento criam experiências consistentes para os usuários de *front-end* e as equipes de operações de *back-end*. Elas são compatíveis com todas as infraestruturas de TI: físicas, virtuais ou baseadas em nuvem (WU; TERPENNY; SCHAEFER, 2017).

No entanto, essa definição não mostra a dimensão total de como as aplicações em nuvem reformularam os mercados e modelos de negócios. Quando bem projetadas, as aplicações em nuvem podem proporcionar uma experiência de usuário semelhante à de um programa instalado completamente em uma máquina local, mas com menos necessidade de utilização de recursos, atualizações realizadas de maneira mais conveniente e possibilidade de acessar as funcionalidades em dispositivos diferentes (EROL; SIHN, 2017).

Uma parte do processamento é realizada no *hardware* local do usuário final (por exemplo, no computador ou dispositivo *mobile*), enquanto outra é realizada em um servidor remoto. Um dos benefícios das aplicações em nuvem é que a maior parte do armazenamento de dados está em um servidor remoto. Algumas delas até podem ser desenvolvidas para consumir quase

nenhum espaço de armazenamento nos dispositivos locais. Os usuários interagem com a aplicação em nuvem por meio de um navegador *web* ou de uma interface de programação de aplicações (STERGIOU *et al.*, 2018). Esses são os princípios básicos de uma aplicação em nuvem, mas o que é processado entre o lado do cliente e do servidor, e como isso altera a experiência do usuário, pode assumir alguns formatos diferentes. Segundo Subramanian e Jeyaraj (2018), tem se:

*Software* como serviço (SaaS) é um formato muito usado de *cloud computing* que oferece uma aplicação *web*, bem como toda a infraestrutura de TI e plataformas subjacentes dela, aos usuários. Esse tipo de solução pode ser ideal para pessoas e empresas que não querem ser responsáveis pela manutenção da infraestrutura, das plataformas e do *software*, têm que solucionar problemas que exigem um nível mínimo de personalização para serem resolvidos e preferem os modelos de subscrição de *software*.

As soluções do tipo SaaS resultam em uma redução dos custos iniciais para os usuários porque eliminam a necessidade de adquirir permanentemente o *software* ou de investir em uma infraestrutura de TI *on-premise* robusta. Ainda assim, os usuários devem investir em um *hardware* de rede que seja rápido, pois o desempenho do serviço é determinado pela velocidade de conexão com a internet.

Os exemplos de SaaS incluem serviços voltados aos consumidores, como Google Docs e Microsoft Office 365, assim como serviços corporativos que fornecem *software* de recursos humanos, sistemas de gerenciamento de conteúdo, ferramentas de gerenciamento de relacionamento com o cliente e alguns ambientes de desenvolvimento integrados.

As soluções do tipo plataforma como serviço (PaaS) oferecem uma plataforma para que se desenvolva, execute e gerencie as próprias aplicações, sem precisar criar e manter a infraestrutura ou o ambiente necessários. Uma PaaS oferece aos usuários o *hardware* e uma plataforma de *software* de aplicações pertencentes a um provedor de serviços externo. Isso significa que o cliente terá o controle sobre as aplicações e os dados que residem na plataforma, o que faz da PaaS uma solução ideal para desenvolvedores e programadores. Por exemplo, um desenvolvedor pode usar uma PaaS como base para criar uma aplicação nova que se integre a um banco de dados Oracle que a empresa já utiliza.

Em uma solução de infraestrutura como serviço (IaaS), o provedor gerencia a infraestrutura, incluindo servidores, rede, virtualização e armazenamento, para os usuários por meio de uma nuvem pública ou privada. A infraestrutura é alugada e tem-se acesso a ela utilizando um painel. Pode-se gerenciar componentes como sistema operacional, aplicações e *middleware*. Enquanto um provedor, como a AWS ou o Microsoft Azure, oferece o *hardware*,

a rede, os discos rígidos, o armazenamento e os servidores, sendo também o responsável por corrigir interrupções, fazer reparos e solucionar problemas de *hardware*.

### **Logística inteligente**

A realidade de muitos gestores é de dúvidas sobre como conquistar um diferencial competitivo na área de atuação. A logística inteligente pode ser o fator diferencial para transformar a imagem da empresa e colocá-la em uma posição de destaque no mercado. A logística inteligente trata-se de uma estratégia que auxilia as empresas a melhorarem os prazos de entrega, bem como o mix de produtos. Assim, é possível aumentar a credibilidade perante os clientes, impactando diretamente a operação (BONAVOLONTA *et al.*, 2019).

A logística inteligente é uma prática relacionada ao desenvolvimento de habilidades e competências capazes de criar respostas eficazes às necessidades do mercado, assim como, criar práticas mais precisas para atender a todo o segmento de negócio. Além disso, pode ser compreendida como um conjunto de habilidades de uma empresa do setor logístico. Nesse processo, encontram-se as equipes e suas diferentes ferramentas e práticas, que buscam atender às principais demandas do mercado com excelência e o máximo de qualidade (FERRARI *et al.*, 2018).

Através de processos logísticos bem definidos, os clientes recebem mercadorias de maneira mais ágil, contribuindo para a fidelização dos mesmos. Os benefícios que a logística inteligente pode proporcionar: entregas mais rápidas para clientes; redução de custos com o setor logístico; aumento da visão crítica de como tornar os processos logísticos mais produtivos; criação de um perfil do consumidor; melhoria no relacionamento com fornecedores e clientes (GUST *et al.*, 2017).

A logística inteligente é um processo de destaque, de modo que o empresário que atua no segmento deve, de maneira constante, adotar medidas que podem potencializar as operações logísticas e oferecer mais vantagens aos clientes, aumentando o grau de satisfação (BONAVOLONTA *et al.*, 2019).

### **Cadeia de suprimentos inteligente**

A eficiência operacional de uma empresa está ligada diretamente a sua capacidade de suprir demandas internas com rapidez e qualidade. Ao buscar modernizar a cadeia de suprimentos, é possível melhorar a gestão e impor maior transparência e visibilidade aos processos, permitindo uma identificação de erros e correção mais ágil (VRCHOTA; PECH, 2019).



Cadeia de suprimentos inteligente é uma metodologia de junção de esforços voltada para a antecipação de demandas e precisão sobre as necessidades que impactam diretamente a eficiência da empresa. Garante que a organização possa lidar com suas demandas de materiais e serviços de forma inteligente e eficiente, e que tudo seja suprido de acordo com as oscilações de demanda interna, proporcionando uma rápida resposta (FRAZZON *et al.*, 2019).

Por meio de uma cadeia de suprimentos inteligente evita-se qualquer descompasso de produção, que possa vir a ocasionar a falta ou excesso de algum material ou insumo e com isso desperdícios ou atrasos. Sendo um conceito importante para a gestão eficiente de uma empresa e para a sua competitividade no mercado (BLANCO *et al.*, 2018).

Para por em prática o conceito de cadeia de suprimentos inteligente, é preciso investir em tecnologia, uma vez que as ferramentas digitais se mostram, cada vez mais, aliadas fundamentais da gestão de precisão. Entre os elementos que se destacam dentro desse conceitos tem-se: a internet das coisas e o RFID (FRAZZON *et al.*, 2019).

Internet das coisas ocorre por meio de sensores instalados nos mais diversos maquinários da empresa, sendo possível monitorar qualquer demanda em tempo real. A comunicação é feita pela internet ou por uma rede interna, permitindo que o gestor visualize uma grande gama de informações como erros, demanda por material, desempenho geral e outros pontos fundamentais para o gerenciamento de precisão (AHMI; ELBARDAN; ALI, 2019).

A tecnologia de RFID, *Radio Frequency Identification*, é um mecanismo de identificação por meio de etiquetas que podem ser lidas por um *hardware* específico e tem como principal objetivo a leitura e controle de tudo que entra e sai de uma fábrica, permitindo uma maior rastreabilidade (ÁLVAREZ *et al.*, 2018). Dentro de um conceito de cadeia de suprimentos inteligente, essa tecnologia é fundamental para que possa ter um maior controle sobre insumos, matérias-primas e até mesmo os produtos finalizados, garantindo um controle de qualidade mais eficaz (VRCHOTA; PECH, 2019).

### **Gerenciamento de ciclo de vida**

O gerenciamento do ciclo de vida do produto, representa uma visão abrangente para gerenciar todos os dados relacionados ao design, produção, suporte e descarte final de produtos manufaturados. Os conceitos de *Product Lifecycle Management* (PLM) são introduzidos em áreas que a segurança e o controle são importantes, principalmente as indústrias aeroespacial, de dispositivos médicos, militares e nucleares. Essas indústrias originam a disciplina de gerenciamento de configuração, que evolui para sistemas de gerenciamento eletrônico de dados, que evolui ainda mais para o gerenciamento de dados do produto (SALEHI, 2020).

Os fabricantes de instrumentação, máquinas industriais, eletrônicos de consumo, produtos embalados e outros produtos complexos de engenharia utilizam dos benefícios das soluções PLM e adotam o *software* PLM eficiente em número crescente. O gerenciamento do ciclo de vida do produto refere-se ao manuseio de um bem à medida que ele avança nos estágios típicos de sua vida útil: desenvolvimento e introdução, crescimento, maturidade/estabilidade e declínio. Esse manuseio envolve tanto a fabricação do bem quanto a comercialização dele. O conceito de ciclo de vida do produto ajuda a informar a tomada de decisões de negócios, desde preços e promoção até expansão ou redução de custos (LIU *et al.*, 2020).

O PLM pode ser visto como uma estratégia de informação e como uma estratégia corporativa. Como estratégia de informação, o PLM constrói uma estrutura de dados coerente consolidando sistemas. Como estratégia corporativa, o PLM permite que as organizações globais trabalhem como uma equipe única para projetar, produzir, dar suporte e retirar produtos, enquanto captura as melhores práticas e lições aprendidas ao longo do caminho. O PLM capacita a empresa a tomar decisões unificadas e orientadas por informações em todas as etapas do ciclo de vida do produto (SAFAR *et al.*, 2018).

O gerenciamento eficaz do ciclo de vida do produto reúne as muitas empresas, departamentos e funcionários envolvidos na produção do produto para otimizar suas atividades, com o objetivo final de produzir um produto que supera seus concorrentes, é altamente lucrativo e dura tanto quanto o desejo do consumidor (SALEHI, 2020).

Os sistemas PLM ajudam as organizações a lidar com a crescente complexidade e os desafios de engenharia do desenvolvimento de novos produtos. Eles podem ser considerados um dos quatro pilares da estrutura de tecnologia da informação de uma empresa de manufatura, os outros sendo o gerenciamento de comunicações com seus clientes (gerenciamento de relacionamento com clientes), o relacionamento com fornecedores (gerenciamento da cadeia de suprimentos) e seus recursos dentro da empresa (planejamento de recursos da empresa) (ZHANG *et al.*, 2017).

A identificação de qual estágio do ciclo de vida de um produto determina como será comercializado. Por exemplo, um novo produto precisa ser explicado, enquanto um produto maduro precisa ser diferenciado. O PLM também pode afetar elementos mais fundamentais de um produto. Mesmo depois de atingir a maturidade, um produto ainda pode crescer, especialmente se for atualizado ou aumentado de alguma forma. As soluções PLM estabelecem uma plataforma digital coesa para: otimizar relacionamentos ao longo do ciclo de vida do produto e entre organizações; configurar um único sistema de registro para dar suporte a diversas necessidades de dados; maximizar o valor da vida útil do portfólio de produtos da

empresa; gerar receita de primeira linha por processos repetíveis (LENG *et al.*, 2020).

O bom gerenciamento do ciclo de vida do produto tem muitos benefícios, como colocar o produto no mercado mais rapidamente, colocar um produto de maior qualidade no mercado, melhorar a segurança do produto, aumentar as oportunidades de vendas e reduzir erros e desperdícios. Um *software* de computador especializado está disponível para auxiliar no PLM através de funções como gerenciamento de documentos, integração de *design* e gerenciamento de processos (ZHANG *et al.*, 2017).

### **Aprendizagem organizacional**

Aprendizagem organizacional pode ser entendida como o alcance de novos, múltiplos e contínuos conhecimentos sobre as dinâmicas e demandas corporativas, seja de maneira direta e/ou indireta, dentro e fora da empresa. Entretanto, embora busque uma formalização do conhecimento, a maior parte do que se aprende em ambiente de trabalho se dá de maneira informal, ou seja, através dos exemplos dos líderes, colegas, do aprendizado com os erros, e, em especial, pela troca e acúmulo de experiências (HEE; LEE; SHVETSOVA, 2019).

A aprendizagem organizacional é uma junção de conhecimentos formais e informais, que permite à organização criar seus próprios modelos de gestão, coerentes com as suas necessidades e pautados no que ela precisa para alcançar os resultados que almeja no mercado em que atua (TELLES; VIANNA; LE ROUX, 2018). Segundo os mesmos autores entre as formas que a aprendizagem organizacional acontece no cotidiano profissional tem-se :

- **Experiências do Profissional**

A partir das experiências positivas e negativas, o profissional pode compreender seus erros e acertos, balizar melhor suas próximas ações e criar estratégias para evitar que estes erros persistam no futuro.

- **Aprendizagem Cultural**

Aprendida através da cultura organizacional, da missão e dos valores estabelecidos pelos líderes e seguidos por todos aqueles que estão ligados à empresa, sejam eles gestores, colaboradores, prestadores de serviços, fornecedores, entre outros.

- **Aprendizagem com o Líder**

É realizada através das atitudes e exemplos dados pelos líderes para seus liderados. Além dos exemplos, o líder pode criar oportunidade de aprendizagem organizacional através da partilha de conhecimento com sua equipe. Incentivar a leitura, compartilhar notícias relevantes ou promover treinamentos são as formas mais comuns de um líder contribuir com a aprendizagem organizacional.

- **Aprendizagem Prática/Ativa**

A aquisição de conhecimentos se dá através da prática efetiva das tarefas e do seu desenvolvimento contínuo. Essa aprendizagem acontece após a aquisição do conhecimento teórico e permite que este conhecimento seja assimilado com maior eficácia.

- **Aprendizagem Sistêmica**

Entendimento ampliado de toda empresa e seus processos, para desta maneira oferecer soluções não apenas ao departamento envolvido, mas para a organização como um todo.

- **Compartilhamento de Informações**

Quanto melhor forem distribuídas as informações, maiores serão os conhecimentos sobre os processos internos da empresa, o que tornará mais assertiva as ações.

- ***Benchmarking***

Observar outras empresas e buscar suas boas práticas para aplicar em sua organização.

Os elementos que compõem a aprendizagem organizacional são importantes, uma vez que, este conjunto de conhecimentos é o que possibilita que os profissionais consigam desenvolver-se efetivamente. Para isso, a gestão dos recursos é importante para que as informações não se percam e o capital de conhecimentos seja utilizado de maneira assertiva e adequada às necessidades dos profissionais, líderes e de toda empresa (HEE; LEE; SHVETSOVA, 2019). Entre os benefícios da aprendizagem organizacional tem-se:

- **Atividades cada vez mais eficazes**

O primeiro benefício que pode-se perceber com a implementação da política de aprendizagem organizacional é que ela permite que as atividades desempenhadas dentro da empresa se tornem cada vez mais eficazes. A partir do conhecimento adquirido, bem como de toda a troca de informações e experiências que acontecem a performance é potencializada, o que torna a execução das demandas ainda mais eficientes e a organização competitiva no mercado de atuação.

- **Ambiente propício à inovação**

Com a implementação da cultura de aprendizagem organizacional, os colaboradores da empresa têm a oportunidade de se tornarem mais criativos, algo que traz benefícios para os negócios como um todo.

Quando se pode contar com profissionais criativos, a possibilidade de que estes encontrem soluções inovadoras para oferecer produtos e serviços que atendam às necessidades dos clientes com assertividade aumentam de forma significativa, algo que também tem o poder de tornar os negócios mais competitivos.

- Conhecimentos compartilhados

Outro benefício que a aprendizagem organizacional traz às empresas é que ela torna o ambiente corporativo propício ao compartilhamento de conhecimentos. Cada experiência pela qual um profissional passa traz um aprendizado, que ao ser absorvido, pode ser disseminado entre os demais. Com isso, todos têm a oportunidade de aprender algo novo constantemente, transmitindo conhecimentos de pessoa para pessoa, algo que traz vantagens competitivas para os negócios de uma forma geral.

- Aumento da satisfação dos clientes

O ambiente em que a aprendizagem organizacional é constantemente estimulada, é um ambiente também voltado para atender, efetivamente e na prática, as necessidades dos clientes.

### **Negócio corporativo**

Empreendedorismo corporativo pode ser definido como o processo pelo qual um indivíduo ou um grupo de indivíduos, em associação com uma organização existente, cria uma nova organização ou instiga a renovação ou inovação dentro dessa organização. Pode também ser definido como a execução de atividades de empreendedores, dentro das organizações, utilizando-se do exercício da criatividade na geração de inovações que podem ser aplicadas no futuro. (EROL; SIHN, 2017).

Alguns autores apresentam uma definição que geralmente inclui dois objetivos para o empreendedorismo corporativo: criação de novos negócios dentro das organizações e renovação da estratégia atual (KABUGO et al., 2020).

Quando se debate a necessidade do estímulo ao empreendedorismo corporativo é que as organizações precisam explorar ideias empreendedoras para a geração de novas soluções no propósito de crescimento e adaptação ao mercado. Para a realização de tal tarefa, as corporações contam com os gerentes de ideias, conhecido como empreendedor corporativo. Este profissional está focado na criação de novas oportunidades no mercado em que a empresa está inserida. Pode ser um novo negócio, uma nova linha de produto, atingir um novo posicionamento no mercado, entre outros (EROL; SIHN, 2017).

As dificuldades mais comuns sobre são: processos inflexíveis de aprovação e decisão; gerenciamento centralizador; alto teor de formalidade nos processos de trabalho; ausência de ambiente favorável ao trabalho em equipe; restrições oriundas de uma descrição formal de cargo; rígida disciplina para com as normas e padrões internos: intolerância a erros e fracassos; baixos orçamentos para as atividades empreendedoras de risco (HORTELANO *et al.*, 2017).

Relacionadas as vantagens tem-se:

- Mentalidade inovadora

Esse é um benefício direto do empreendedorismo corporativo, uma vez que os colaboradores buscam a inovação constantemente dentro da empresa, na prática, isso se traduz em vantagem competitiva para o negócio que, por meio da inovação, se posiciona melhor no mercado e destaca dos concorrentes.

- Aumento da colaboração

Empresas que investem no empreendedorismo corporativo incentivam que os colaboradores trabalhem em conjunto para implementar as melhorias propostas. A liderança também ouve o que os funcionários têm a dizer, é aberta a sugestões e dá espaço para que eles utilizem a colaboração e o trabalho em equipe como ferramenta para pensar em soluções relevantes para o negócio.

- Ganho de produtividade

Se os colaboradores estão motivados e sabem que seus esforços são valiosos para a empresa, o desempenho melhora automaticamente.

- Retenção de talentos

Quando os profissionais participam ativamente da performance do negócio e se sentem valorizados, o nível de satisfação aumenta. As vantagens são a retenção dos melhores talentos na empresa e, conseqüentemente, a redução dos níveis de rotatividade.

- Diminuição de custos

Na medida em que pequenas inovações são implementadas nos processos da empresa, os custos relativos a eles tendem a diminuir. Com a retenção de talentos, também é reduzida a frequência de treinamentos de novos colaboradores em relação aos processos da empresa.

Desenvolvido assim os conceitos e características dos requisitos gerais, a pesquisa avança para a metodologia e desenvolvimento da sistemática.

### 3. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO DA SISTEMÁTICA

#### 3.1. DEFINIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo descreve o método de pesquisa seguido para alcançar os objetivos. O significado usado pelo trabalho para o termo método de pesquisa é o apresentado por Silva e Menezes (2005), que o definem como um conjunto de etapas adotadas na investigação de um fenômeno.

A motivação da pesquisa surgiu da necessidade de se explorar os requisitos gerais do desenvolvimento de *software* na indústria 4.0 como forma de melhorar a realização das atividades tecnológicas. Para tanto se definiu os procedimentos metodológicos. A classificação da pesquisa é apresentada no Quadro 5.

Quadro 5. Classificação da pesquisa

Natureza	Aplicada (APPOLINÁRIO, 2006)
Objetivo	Exploratório (SILVA; MENEZES, 2005)
Abordagem do problema	Combinada (CRESWELL, 2007; MARTINS, 2010)
Método	Modelagem (CHUNG, 2004)

Fonte: elaborado pela autora

A primeira característica da pesquisa é o foco na solução de problemas reais ou práticos. Essa característica define a pesquisa como aplicada quanto à sua natureza.

A segunda característica da pesquisa envolve o seu objetivo. Como a pesquisa investiga o desenvolvimento de *software* na indústria 4.0, ela deve explorar a aplicação desse método na prática. Essa necessidade acarreta um objetivo exploratório para pesquisa, pois ela buscará explicar se o fenômeno da aplicação do método tem realmente capacidade para apoiar a gestão tecnológica das empresas.

A terceira característica da pesquisa é a avaliação combinada dos resultados. Essa escolha se deve ao fato dela atuar com percepções sobre a capacidade que o método tem para melhorar a realização da gestão estratégica tecnológica das empresas (CRESWELL, 2007). A premissa é que o uso combinado das abordagens qualitativa e quantitativa oferece um melhor entendimento dos problemas de pesquisa do que qualquer uma dessas abordagens isoladas. Dessa forma, a possibilidade de usar mais de um método e técnicas de coleta de dados disponíveis pode prover evidências mais abrangentes do que seria proporcionado pelas

abordagens separadamente (MARINS *et al.*, 2010). Sendo a abordagem qualitativa referente as análises de especialistas e a quantitativa a modelagem por meio da aplicação do AHP.

A quarta característica da pesquisa está relacionada ao método utilizado pelo pesquisador durante suas etapas. Nesta pesquisa foi utilizada a modelagem por meio da aplicação do AHP em uma abordagem combinada. A modelagem consiste no processo de criar e experimentar um sistema físico através de um modelo matemático. Um sistema pode ser definido como um conjunto de componentes ou processos que interagem e que recebem entradas e oferecem resultados para algum propósito (CHUNG, 2004). Segundo Bertrand e Fransoo (2002), um modelo é sempre uma abstração da realidade, no sentido de que a realidade completa não é incluída, mas consegue-se explicitar e estudar funções, com a finalidade de fazer o modelo para a análise matemática. De acordo Chwif e Medina (2010) a intenção principal da modelagem é capturar o que realmente é importante no sistema para a finalidade em questão. Nesses casos, a utilização de modelos permite a melhor compreensão desse ambiente, identificação dos problemas, formulação de estratégias e oportunidades e o apoio e sistematização do processo de tomada de decisões (SAATY; OZDEMIR, 2005).

Será aplicado o AHP, pois é o método de decisão multicritério com maior número de publicações (WALLENUS *et al.*, 2008), e o que melhor se aplica ao objetivo do trabalho, em conjunto com a abordagem combinada (CRESWELL, 2007). Ele é um método compensatório, com estrutura hierárquica, para priorização dos critérios e subcritérios. A utilização desse método se justifica pelo objetivo de priorizar os requisitos e ordenar os mesmos na sistemática.

É trabalhado também as análises de especialistas visando adequar a sistemática em termos acadêmicos e práticos. Além de ser um método bastante utilizada em pesquisas relacionadas a métodos multicritérios (MARINS *et al.*, 2010). Serão realizadas assim entrevistas e observações por parte do pesquisador. Essa multiplicidade de fontes de evidências é essencial para confiabilidade dos dados coletados, pois assim aumenta a validade da pesquisa, conforme Martins (2010).

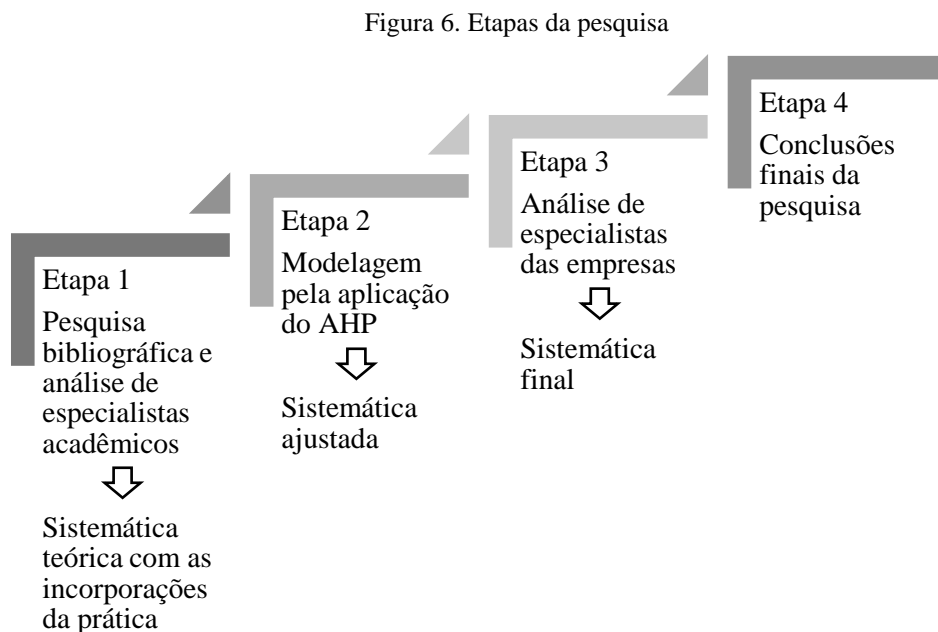
Ainda sobre a classificação da pesquisa, o objeto de estudo são os especialistas e as empresas que possuem gestão de tecnologia e desenvolvimento de *software* utilizando premissas da indústria 4.0. A unidade de análise são gestores e acadêmicos que desenvolvem atividades tecnológicas e desenvolvimento de *software*. A coleta de dados ocorre por meio de questionários e entrevistas. A análise de dados utiliza da lógica indutiva, visando incrementar a teoria existente. Por fim, a qualidade e validade da pesquisa consistem na validação do conteúdo (feita por meio da revisão da literatura), uso de questionário de pesquisa,



desenvolvimento de banco de dados, unidade de análise claramente definida para o estudo e respondentes com conhecimento teórico e prático.

### 3.2. ETAPAS DA PESQUISA

As etapas da pesquisa devem estar alinhadas com o método de pesquisa definido. Foram estabelecidas quatro etapas para a pesquisa, as quais são mostradas na Figura 6. Estas seguem o modelo estabelecido por Salgado (2011).



Fonte: elaborada pela autora

**Etapa 1 - Pesquisa bibliográfica e análise de especialistas acadêmicos:** a primeira etapa está associada à busca dos conhecimentos que permitem o desenvolvimento da sistemática. Ela corresponde aos estudos sobre os requisitos gerais da indústria 4.0 no contexto de desenvolvimento de *software*, os desafios, riscos, lacunas, vantagens e tendências. Nesta etapa é desenvolvida a sistemática fundamentada na teoria.

É também nesta etapa que a sistemática passa pelo crivo dos especialistas acadêmicos com experiência em indústria 4.0, buscando dessa forma a validação das fases da sistemática, além de alterações em processo e no fluxo geral. É uma forma de adequação da sistemática sem a interferência dos vieses de pesquisa e do próprio pesquisador. Por meio do conhecimento dos especialistas se pode ter uma visão mais clara do que foi estudado e estruturado por meio da

teoria. Foram contatados especialistas com conhecimentos nas área de tecnologias, automação e indústria 4.0. Temos assim a sistemática teórica com as incorporações da prática.

**Etapa 2 - Modelagem por meio da aplicação do AHP:** nesta fase é realizado a modelagem ou abordagem quantitativa da pesquisa, no qual serão realizados a aplicação do AHP com especialistas. O AHP é aplicado como forma de auxiliar na priorização, com base no critério definido, de cada uma das etapas da sistemática. A utilização do AHP na construção da sistemática serve para evitar que opiniões pessoais e especulações sejam consideradas como verdades, pois captura diversos pontos de vista dos gerentes, diretores e responsáveis das empresas e não apenas a perspectiva do pesquisador. Desta forma, é desenvolvida a sistemática ajustada. Foram contatados especialistas com experiência industrial e acadêmica nos termos da indústria 4.0 e familiaridade com o desenvolvimento de *software*.

**Etapa 3 – Análise de especialistas das empresas:** a terceira etapa consiste na investigação da efetividade dos requisitos gerais em empresas. Foram consultados os responsáveis pela gestão de tecnologia ou desenvolvimento de *software* de diversas empresas que utilizam-se das premissas da indústria 4.0. Sendo desenvolvido um protocolo de pesquisa e realizadas assim entrevistas visando a adequação da sistemática nesse contexto empresarial. Nesta etapa temos, finalmente, a sistemática final.

**Etapa 4 - Conclusões finais da pesquisa:** nesta etapa, os resultados da pesquisa são confrontados. Em função da avaliação combinada, o trabalho responde a pergunta da pesquisa e conclui sobre o tema estudado.

### 3.3. VISÃO GERAL DA SISTEMÁTICA

As inovações e tecnologias devem ser geridas para se ganhar em aprendizado e desenvolvimento estratégico (GHAZINOORY *et al.*, 2017; SON; KIM; KIM, 2020). Com a utilização de novas abordagens e ferramentas, pode-se ampliar o impacto perante a empresa, desenvolver novas capacidades e preparar melhor a organização perante as mudanças impostas pela inovação, tecnologia e a globalização (ZHANG *et al.*, 2016; YOON *et al.*, 2019).

A construção da sistemática ocorreu por meio da combinação dos requisitos gerais do desenvolvimento de *software* dentro da indústria 4.0, sendo esses necessários para o pleno desenvolvimento e criação de valor da organização que usará dessa sistemática.

A base da sistemática fundamentada na teoria vem do alinhamento que a indústria 4.0 têm com o planejamento estratégico, com as abordagens de desenvolvimento futuro e com as redes de inteligência. Com os estudos bibliométricos e bibliográficos sobre o tema,

desenvolvidos no Capítulo 2, pode-se fazer a relação da sistemática com metodologias ligadas à alta tecnologia, inovação de ponta e ferramentas de conexão. A partir dessa análise se pode identificar os requisitos gerais que irão compor a sistemática. O Apêndice A apresenta os artigos encontrados.

Os requisitos gerais da indústria 4.0 adaptados para o contexto do desenvolvimento de *software* foram reunidos em cinco grandes grupos para seu melhor entendimento. Esses grupos são: análise de oportunidades, tecnologia da informação, novas interfaces e dados, gestão integrada e inteligente e mudança e aprendizagem. São apresentados nos Quadros 6, 7, 8, 9 e 10.

Os Quadros sintetizam as características e demandas de cada requisito, sendo eles sua descrição, desafios de implementação, riscos de integração e adaptação (entre outros tipos de riscos), as lacunas encontradas nos estudos acadêmicos, suas vantagens de implementação, as tendências também encontradas na pesquisa em artigos e trabalhos publicados e por fim, a literatura que respalda as abordagens descritas.

As empresas e os acadêmicos devem usar essas informações como meio de entender os requisitos que fazem parte da sistemática. Nessa explicação são definidos as dificuldades e os ganhos que a utilização ou não desses requisitos pode trazer para a organização. Servindo como guia para os próximos passos, assim como alerta para possíveis problemas, podendo ser elaborado planos de contingência, entre outros.

O Quadro 6 mostra a fase de preparação. São explicados os requisitos dentro da análise de oportunidade. Seguindo a teoria de Rauch *et al.* (2018) e Tseng, Lee e Tai (2019) a eficiência operacional busca obter o máximo valor dos recursos e eliminar o desperdício na produção e nas operações, porém essa nova eficiência é elevada as novas tecnologias, integração de sistema, grande quantidade de dados, entre outros fatores da indústria 4.0. Já a otimização do modelo de negócios busca criar condições favoráveis para que algo seja feito da melhor maneira possível, criando um fluxo de trabalho produtivo e benefícios para os negócios, levando em conta as inovações, automatizações e tecnologias (HORTELANO *et al.*, 2017; FERRARI *et al.*, 2018).

Quadro 6. Análise de oportunidades

<b>Análise de Oportunidades</b>		
<b>Requisitos Gerais</b>	<b>Eficiência operacional 2.0</b>	<b>Otimização do modelo de negócios</b>
<b>Descrição</b>	A análise, avaliação e aplicação eficazes dos dados coletados de máquinas e sensores possibilitam a rápida tomada de decisões para melhorar a segurança operacional, os processos de trabalho e a manutenção. A transparência, não apenas torna os processos de desenvolvimento e produção mais eficientes, mas também oferece reduções substanciais nos custos.	A indústria 4.0 significa lidar com novas abordagens radicais para os negócios, em vez de simplesmente fazer melhorias incrementais nos modelos de negócios estabelecidos. Para conseguir isso, as empresas precisam desenvolver novas habilidades, tanto no nível de funcionários individuais quanto na organização como um todo.
<b>Desafios</b>	A transformação digital para o setor 4.0 também oferece novas oportunidades para impulsionar a eficiência operacional que cria vantagens competitivas de longo prazo, tanto em confiabilidade quanto em preço.	Uma abordagem unicamente de cima para baixo criará resistência na organização, ao passo que a introdução de bolsões de inovação nos negócios tradicionais provocará uma reação de funcionários menos engajados. Empresas bem-sucedidas desenvolvem novos segmentos no limite de seus negócios que se tornam centrais.
<b>Riscos</b>	Incompatibilidade de sistemas e Substituição da mão de obra.	
<b>Lacunas</b>	Integração com outros ambientes organizacionais, aplicabilidade industrial e exploração de técnicas.	Novas ferramentas, abordagens e perspectivas industriais. recomendações e mecanismos em abordagens flexíveis industriais.
<b>Vantagens e tendências</b>	A eficiência operacional molda a nova visão industrial, relacionada as mudanças, devido a isso, pode ser considerada um tema importante.	Os modelos de negócio voltados para a indústria 4.0 caracterizam uma nova forma de entender a indústria de forma clara e tecnológica, visando o crescimento consciente e enxuto. Sendo a performance industrial uma tendência.
<b>Literatura</b>	Tang e Yang (2016); Parida <i>et al.</i> (2016); Penas <i>et al.</i> (2017); Marquardt (2017); Rauch <i>et al.</i> (2018); Tseng, Lee e Tai (2019)	Schuh <i>et al.</i> (2014); Guerrero e Terriza (2017); Mueller, Chen e Riedel (2017); Chen, Tai e Chen (2017); Ma <i>et al.</i> (2017); Hortelano <i>et al.</i> (2017); Ferrari <i>et al.</i> (2018)

Fonte: elaborada pela autora

O Quadro 7, 8 e 9 fazem parte da fase de *workshop* da sistemática. O Quadro 7 contém os requisitos sobre tecnologia da informação. Segundo Lopez *et al.* (2018) e Xu *et al.* (2019) a redução de custos, o reforço nas diretrizes de segurança de informações, o ganho na produtividade, por meio da integração de ferramentas e sistemas de TI é uma ação necessária para o desenvolvimento do negócio. A discussão sobre a segurança de TI se intensificou com a adição de novas formas de comunicação e transferência de dados por meio da rede, e está relacionada com a grande quantidade de dados estratégicos em circulação. Por isso a necessidade da proteção de arquivos, banco de dados e contas em rede (TSUCHIYA *et al.* 2018; KIESEBERG; WEIPPL, 2018).

Quadro 7. Tecnologia da Informação

<b>Tecnologia da Informação</b>		
<b>Requisitos Gerais</b>	<b>Integração de TI</b>	<b>Gerenciamento de segurança de TI</b>
<b>Descrição</b>	Soluções novas e combinadas precisam ser desenvolvidas a partir de uma variedade de componentes, desde fornecedores de sensores, módulos, sistemas de controle, redes de comunicação, aplicativos comerciais e aplicativos voltados para o cliente. As empresas que se adaptam e integram em uma nova solução abrangente garantirão uma vantagem de longo prazo no mercado.	As empresas precisam de um sistema de gerenciamento de risco sob medida e de uma estratégia de segurança voltada para a segurança cibernética, com o objetivo de melhorar a segurança operacional e a proteção contra ataques em toda a cadeia de valor.
<b>Desafios</b>	As infraestruturas de TI existentes são muito fragmentadas e resultam em redes de baixa qualidade.	Uma extensa rede de contatos e os altos níveis de compartilhamento de dados envolvidos na indústria 4.0 aumentam consideravelmente as demandas feitas em segurança de dados.
<b>Riscos</b>	Falta de segurança e robustez dos sistemas de informação, como na legislação e dificuldades de expansão dos serviços de internet e comunicação.	
<b>Lacunas</b>	Implementação para outras áreas de pesquisa.	Dificuldades tecnológicas que a segurança de TI impõe as organizações.
<b>Vantagens e tendências</b>	Vantagem da pesquisa está relacionada ao assunto das características da nova indústria.	Os estudos implicam em um desenvolvimento necessário para a ciência que se expande rapidamente e precisa de segurança para isso.
<b>Literatura</b>	Patelay (2013); Bologna <i>et al.</i> (2017); Bauerdick <i>et al.</i> (2017); Lopez <i>et al.</i> (2018); Xu <i>et al.</i> (2019)	Mueller <i>et al.</i> (2017); Sha, Xiao e Chen (2018); Dieber <i>et al.</i> (2018); Tsuchiya <i>et al.</i> (2018); Kieseberg e Weippl (2018)

Fonte: elaborada pela autora

O Quadro 8 trata sobre as novas interfaces e dados. O novo gerenciamento da propriedade intelectual está relacionada a como as novas tecnologias e suas implicações mudaram a forma como os produtos e processos são entendidos, assim como os inventores ou responsáveis por qualquer produção de intelecto industrial e/ou científico (SIVANATHAN *et al.*, 2018). A análise e gerenciamento de dados mostra como a grande quantidade de dados gerados pelos processos da indústria 4.0 devem ser geridos, de forma a não correr riscos de obstruções ou perdas de informações (GOGUELIN *et al.*, 2017; RAS *et al.*, 2017). As aplicações baseadas em nuvens oferecem inovações mais rápidas, recursos flexíveis e economias de escala, fornecendo serviços de computação, servidores, armazenamento, banco de dados, rede, *software*, análise e inteligência pela internet ‘a nuvem’ (WU; TERPENNY; SCHAEFER, 2017).

Quadro 8. Novas interfaces e dados

<b>Novas interfaces e dados</b>			
<b>Requisitos Gerais</b>	<b>Novo gerenciamento de Propriedade Intelectual</b>	<b>Análise e gerenciamento de dados</b>	<b>Aplicações baseadas em nuvem</b>
<b>Descrição</b>	Novos modelos de negócios e novos modelos de cooperação que surgirem como resultado da indústria 4.0 exigirão soluções novas e individuais para o problema de PI (propriedade intelectual).	As empresas precisam desenvolver novas habilidades especializadas nas áreas de análise e gerenciamento eficiente de dados, e implementar novos processos de negócios com base nas informações que essa análise revela.	Há vantagens específicas para sistemas de produção inteligente em rede descentralizada, no qual o poder de computação permitirá que aplicativos baseados em nuvem forneçam acesso universal e a qualquer momento a todos os dados-chave. Isso simplifica a coleta, o monitoramento, a distribuição e a análise de dados, não apenas entre fábricas, mas também em toda a rede de cadeia de valor.
<b>Desafios</b>	As questões de propriedade intelectual não se concentram apenas em impressoras 3D, tecnologia de impressoras e materiais, mas também em sistemas e planos.	A indústria 4.0 gera enormes quantidades de dados. Reunir, analisar e processar esses dados gera novos insights, apoiando a tomada de decisões e criando uma vantagem competitiva.	A rede de soluções baseadas em nuvem oferece oportunidades para hospedar e fazer uso eficiente dos grandes dados gerados pela indústria 4.0. As soluções baseadas em nuvem são cada vez mais cruciais para o setor 4.0.
<b>Riscos</b>	Dificuldades na estrutura de <i>big data</i> da organização		
<b>Lacunas</b>	Discussão dos paradigmas da tecnologia e integração, além da aplicabilidade nos diferentes domínios.		Tratamento de idéias, criação de protótipos, aliar técnicas com ferramentas de <i>software</i> , entre outras melhorias de sistemas.
<b>Vantagens e tendências</b>	Integração industrial, sua performance e abordagem.		A discussão é atual e presente não só nas organizações, mas no dia a dia de quem faz uso das tecnologias, podendo ser considerada parte de uma nova engenharia de tratamento de dados.
<b>Literatura</b>	Peters (2017); Papakostas (2017); Wang <i>et al.</i> (2017); Sivanathan <i>et al.</i> (2018)	Harpham, Cleverley e Kelly (2014); Cheng <i>et al.</i> (2016); Goguelin <i>et al.</i> (2017); Ras <i>et al.</i> (2017)	Thames e Schaefer (2016); Fischer e Senft (2016); Erol e Sihm (2017); Wu, Terpeny e Schaefer (2017)

Fonte: elaborada pela autora

O Quadro 9 mostra a gestão integrada e inteligente. A modernização da cadeia de suprimentos possibilita melhorar a sua gestão, trazendo maior transparência e visibilidade aos processos, permitindo uma identificação de erros e correção mais ágil (VRCHOTA; PECH, 2019). Assim como por meio da logística inteligente é possível aumentar a credibilidade perante os clientes, impactando diretamente em toda a operação (BONAVOLONTA *et al.*, 2019). A indústria 4.0 mostra as organizações um novo meio de gerenciar o ciclo de vida de seus produtos e processos, evitando desperdícios e erros (SALEHI, 2020).

Quadro 9. Gestão integrada e inteligente

<b>Gestão integrada e inteligente</b>			
<b>Requisitos Gerais</b>	<b>Cadeia de suprimentos inteligente</b>	<b>Logística inteligente</b>	<b>Gerenciamento do ciclo de vida</b>
<b>Descrição</b>	A transformação digital cria um único banco de dados, tornando as cadeias de suprimentos mais inteligentes, mais transparentes e mais eficientes em todas as etapas, desde as necessidades do cliente até a entrega. As funções de pesquisa e desenvolvimento, aquisição e compra, produção e vendas são cada vez mais alinhadas à medida que a digitalização avança. As empresas de sucesso usam melhores comunicações para integrar as necessidades de fornecedores e clientes em todas as atividades de criação de valor.	Na sequência da digitalização, os processos logísticos estão se tornando mais inteligentes em todas as novas gerações de redes de cadeias de valor globais (logística inteligente). Isso se aplica à logística de entrada, logística interna e logística de saída.	A transformação digital para o setor 4.0 possibilitará fornecer dados relevantes para o gerenciamento do ciclo de vida a qualquer hora e em qualquer lugar. Esses dados incluem não apenas informações e relatórios, mas também os resultados do processamento de big data para gerar indicadores precoces relevantes por meio do uso de inteligência artificial (IA). A IA utiliza a verificação cruzada global e avalia a plausibilidade de gerar bases relevantes para a tomada de decisão apoiada pelos dados.
<b>Desafios</b>	O foco particular em novos modelos que são adaptados às necessidades individuais dos clientes e permitem novos modelos cooperativos com parceiros de negócios, coloca novas demandas na cadeia de suprimentos.	Grandes desafios são colocados pela integração de tecnologias autônomas, sistemas logísticos flexíveis, novos serviços, novos modelos de armazenamento e distribuição e a interligação entre produção interna, pré-montagem e provedores de serviços externos.	Isso permitirá que as empresas entendam e atendam melhor às necessidades de seus clientes, bem como personalizem os ciclos de produtos.
<b>Riscos</b>	Impacto que as mudanças podem trazer nas relações de consumo entre clientes e empresa.		
<b>Lacunas</b>	Discussão além da simulação teórica, integração com outros processos de design, conceitos e dificuldades de pequenas e médias empresas.		
<b>Vantagens e tendências</b>	Temas relevantes relacionados ao desenvolvimento da tecnologia atual em grande escala, sem esquecer das pequenas e médias empresas tecnológicas, que contribuem para o crescimento desse cenário organizacional de desenvolvimento de <i>software</i> , trabalhando em conjunto.		
<b>Literatura</b>	Zarour e Alharbi (2017); Li e Si (2017); Kannan <i>et al.</i> (2017); Blanco <i>et al.</i> (2018); Frazzon <i>et al.</i> (2019); Vrchota e Pech (2019)	Muller <i>et al.</i> (2015); Bauerdick <i>et al.</i> (2017); Zhou <i>et al.</i> (2017); Gust <i>et al.</i> (2017); Ferrari <i>et al.</i> (2018); Bonavolonta <i>et al.</i> (2019)	Pfeiffer, Hellmers e Schoen (2017); Erol e Sihm (2017); Lorenz <i>et al.</i> (2016); Safar <i>et al.</i> (2018); Liu <i>et al.</i> (2020); Salehi (2020)

Fonte: elaborada pela autora

O Quadro 10 mostra a etapa de execução, nessa fase são feitas as análises referentes a mudança e aprendizagem. O conceito de negócio corporativo instiga a renovação ou inovação dentro da organização, proporcionando um ambiente empreendedor e aberto as tendências (KABUGO *et al.*, 2020). Já a aprendizagem organizacional promove o alcance de novos conhecimentos tecnológicos de forma variável e constante sob as dinâmicas e demandas empresariais dentro ou fora das empresas (HEE; LEE; SHVETSOVA, 2019).

Quadro 10. Mudança e aprendizagem

<b>Mudança e aprendizagem</b>		
<b>Requisitos Gerais</b>	<b>Negócio corporativo</b>	<b>Aprendizagem organizacional</b>
<b>Descrição</b>	O empreendimento corporativo oferece às empresas oportunidades para investir em novas tendências em um estágio inicial e para se beneficiar de inovações disruptivas e tecnologias exponenciais. Investir em start-ups permite que as empresas se envolvam no desenvolvimento de inovações e assegurem sua competitividade a longo prazo. Tais investimentos permitem uma visão inicial e conveniente das novas tecnologias.	As empresas precisam se tornar organizações de aprendizado se quiserem aproveitar ao máximo o potencial das tecnologias exponenciais para alcançar a transformação digital para a indústria 4.0. Novas ideias, processos e segmentos de negócios são mais bem sucedidos quando começam como um nicho onde a aprendizagem continua, e depois gradualmente migram para o centro da organização para se estabelecerem como um novo segmento líder.
<b>Desafios</b>	Assim, uma nova área de negócios pode ser criada, o que pode se tornar o novo centro dos negócios no futuro. Se tais oportunidades forem perdidas, a sobrevivência das empresas pode estar em risco.	O uso e a integração de tecnologias exponenciais precisam ser graduais, mas estáveis. A aprendizagem é a chave para o desenvolvimento organizacional sustentável. A mudança que é muito rápida pode ser contraproducente.
<b>Riscos</b>	Difusão do novo cenário tecnológico para estudantes e pesquisadores.	
<b>Lacunias</b>	Mudança de perspectivas conceituais e desenvolver os desafios relacionados a <i>software</i> e as áreas de estudo.	
<b>Vantagens e tendências</b>	As vantagens estão relacionadas ao desenvolvimento tecnológico que o negócio e a aprendizagem trazem a organização. Direcionando-se a aprendizagem ativa e novas formas de estudo, que se integram e contribuem para o desenvolvimento da indústria. Esse movimento de ciência aliada a prática tende a quebrar diversas barreiras dentro e fora das organizações tecnológicas.	
<b>Literatura</b>	Prause e Weigand (2016); Vila <i>et al.</i> (2017); Hortelano <i>et al.</i> (2017); Bologna <i>et al.</i> (2017); Erol e Sihm (2017); Kabugo <i>et al.</i> (2020)	Bi <i>et al.</i> (2016); Bullinger <i>et al.</i> (2017); Giorgio <i>et al.</i> (2017); Sivanathan, Ritchie e Lim (2017); Telles, Vianna e Le Roux (2018); Hee, Lee e Shvetsova (2019)

Fonte: elaborada pela autora



O desenvolvimento de *software* aliado à indústria 4.0 pode apresentar problemas de integração ou até perdas. Assim, a industrialização passa por desafios que são encontrados na sistemática e que foram apresentados nos quadros acima. Neste sentido, a sistemática pode auxiliar no tratamento dos dados, na integração da tecnologia e no conhecimento de desenvolvimento futuro que as empresas que utilizam a indústria 4.0 almejam. Ela possui a capacidade de comunicação, interação e inovação (GHAZINOORY *et al.*, 2017; PARK *et al.*, 2020). É proposta as seguintes etapas para a sistemática:

### **Estágio 1 - Preparação**

Etapa onde deverá ser realizada a análise das oportunidades, que é a discussão e a listagem de requisitos em formato da atual situação e o planejamento futuro referentes à:

- Eficiência operacional 2.0;
- Otimização do modelo de negócios.

As análises de eficiência operacional e otimização de modelos de negócios devem ser feitas na fase de planejamento, pois estas determinam a direção das demais fases que compõem a sistemática. Nesta etapa, são direcionadas as análises de risco como oportunidade, visando identificar os *gaps* e trabalhar para obter ganho a partir deles.

Deverão ser discutidos nessa fase os possíveis riscos, como:

- Entendimento do funcionamento dos sensores e a falta de compatibilidade entre os sistemas (PENAS *et al.*, 2017).
- Discussão da substituição da mão de obra e fábricas extremamente automatizadas (TELLES; VIANNA; LE ROUX, 2018).

Os riscos de falta de compatibilidade entre sistemas e o desafio da substituição de mão de obra devem ser discutidos nessa fase de planejamento, pois, são desafios e riscos importantes e complexos, que direcionam ou podem trazer complicações para a estratégia organizacional.

### **Estágio 2 – Workshops**

Nesta fase, são realizados os *workshops*. Ela se destaca, pois é o momento de conectar as ações, sendo o estágio onde se delimita os passos que serão dados e quais os maiores desafios que podem ocorrer. É o momento para a discussão e consolidação das ideias de integração e da gestão efetiva da inovação e das tecnologias alcançadas ou almeçadas.

Durante esses três estágios da fase de *workshops*, alguns requisitos gerais são propostos e devem ser discutidos e analisados. O estudo indica uma base para a discussão, sendo os seguintes requisitos aconselháveis de análise em formato da atual situação e o planejamento futuro da:

- Tecnologia da informação, onde serão trabalhados a questão da:
  - Integração de TI;
  - Gerenciamento de segurança de TI.
- Novas interfaces e dados, onde serão discutidos:
  - Novo gerenciamento de propriedade intelectual;
  - Análise e gerenciamento de dados;
  - Aplicações baseadas em nuvem.
- Gestão integrada e inteligente, onde serão analisados a:
  - Cadeia de suprimentos inteligente;
  - Logística inteligente;
  - Gerenciamento do ciclo de vida.

Os requisitos gerais ligados à tecnologia da informação demonstram como a organização está envolvida com a tecnologia e como ela pretende modernizar e administrar essas futuras transformações que deverão ocorrer em todos os níveis da empresa, sejam na internet por meio das nuvens, ou na segurança envolvidas nas operações de TI e nas diferentes e necessárias maneiras de inovar em diversas áreas, criando assim, o diferencial.

Nesta fase, tem-se como possíveis riscos a serem discutidos:

- Segurança e robustez dos sistemas de informação, como: falhas de transmissão na comunicação máquina-máquina, proteger o *know-how* da organização (SHA; XIAO; CHEN, 2018). Transações mais confiáveis (BOLOGA *et al.*, 2017). Além da discussão e revisão da legislação que assegure a segurança da informação, bem como a propriedade intelectual e cultural em relação aos dados gerados (WANG *et al.*, 2017).
- Necessidade de expansão dos serviços de internet móvel e fixa com largura de banda adequada aos novos tráfegos de dados (MARTINEZ *et al.*, 2017). Desoneração dos serviços de telecomunicações - visando o incremento do comércio eletrônico, como plataforma necessária ao novo ambiente de competitividade (MARTINEZ *et al.*, 2017).

Os requisitos gerais de análise e gerenciamento de dados devem ser analisados nesta etapa, na qual a equipe precisa organizar e se preocupar com a quantidade e qualidade dos dados encontrados. Deve ocorrer uma boa administração da extensa base de dados coletada para o

entendimento dos demais estágios. Devem ser discutidos nessa fase os possíveis riscos, como os 6Cs da estrutura de *big data* ou estrutura de dados extensa e complexa (WANG *et al.*, 2017). Uma extensa base de dados precisa de uma administração completa, para isso surgem riscos referentes à perda dos dados, perda de parte da informação, ou até mesmo ao não entendimento deles. É necessário o conhecimento sobre: conexão, *cyber*, conteúdo, comunidade, *cloud* e customização.

Todos os requisitos gerais relacionados à gestão integrada e inteligente são discutidos nesse estágio, pois se direcionam aos fatores de produção. Para se ter um produto ou serviço tecnológico competitivo, deve-se preocupar com seu ciclo de vida do mesmo, com a logística e todas as camadas da cadeia de suprimentos, além de saber gerir as novas condições de propriedade intelectual. Essa preocupação se justifica por ser um ambiente estável e inovador, que necessita de capacidades e cuidados específicos relacionados às constantes mudança do cenário tecnológico.

Devem ser discutidos nessa fase os possíveis riscos como a discussão do impacto das relações de consumo e produto extremamente exclusivo (determinar como deverá ser regulada a insatisfação do cliente e as possíveis devoluções) (GIORGIO *et al.*, 2017).

O desafio de gerir a insatisfação dos clientes e administrar os produtos exclusivos, estão relacionados à capacidade e organização da gestão da produção e da gestão estratégica, por isso a importância de entender as relações de consumo e evitar os riscos de insatisfação.

### **Estágio 3 - Execução**

Etapa na qual deve ocorrer a análise da mudança e aprendizagem. É realizado um estágio final em que serão discutidos e analisados os seguintes requisitos relacionados ao que se obteve em todo o processo, sendo eles:

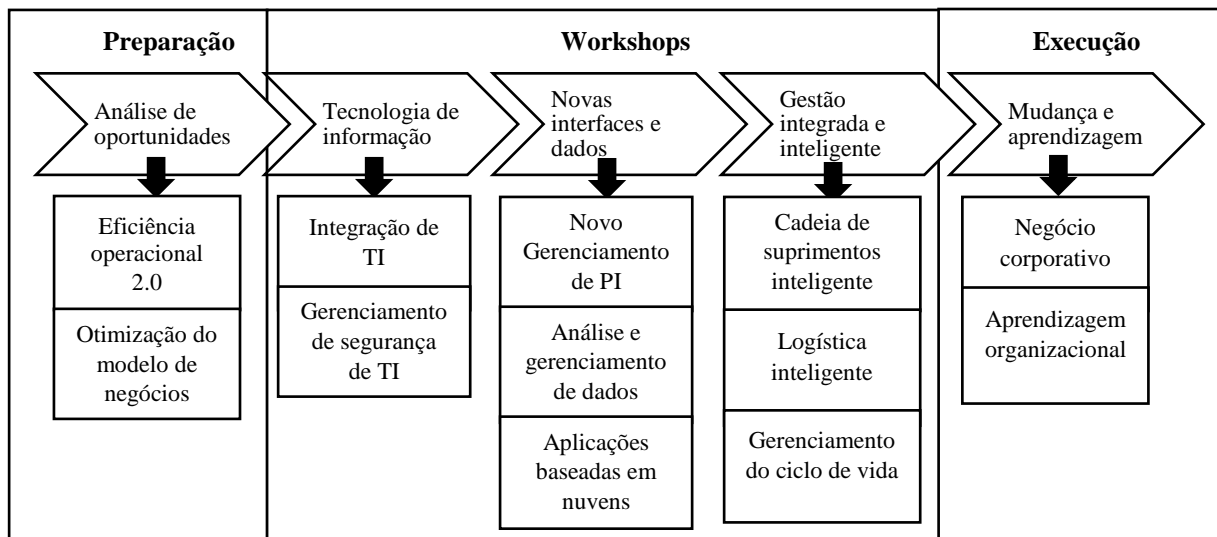
- Negócio corporativo;
- Aprendizagem organizacional.

Pode se ter um balanço geral de tudo que se alcançou e o que precisa ainda ser melhorado e alcançado nos próximos anos, sendo um processo contínuo e cíclico de experiências, melhorias e inovação. A aprendizagem organizacional e a ideia de um negócio corporativo expandido, como por exemplo em relação ao incentivo às *startups*, coloca a empresa em um posicionamento proativo em relação aos desafios da indústria 4.0. Mostra que a organização está disposta a desenvolver em ambiente inovador e com a aprendizagem em todos os processos

e mudanças. A sistemática deve estar constantemente em revisão, mesmo após o término do processo, para que todas as informações reunidas sejam refletidas nos negócios estratégicos.

Por fim, o desafio de estar aberto para a comunidade acadêmica/pesquisadores deve ser discutido, sendo que estes podem trazer avanços significativos de processos, estruturas, modelos, e abordagens, seja na gestão, na tecnologia, na inovação ou na cadeia de valor. Assim, tem-se o risco da necessidade de difusão do novo cenário tecnológico para estudantes, que serão responsáveis pela implementação e manutenção das tecnologias aplicadas nas novas fábricas e empresas de serviço. Trazer a comunidade de pesquisadores da área tecnológica para o fórum de discussões (TELLES; VIANNA; LE ROUX, 2018). A sistemática fundamentada na teoria pode ser identificada na Figura 7.

Figura 7. Sistemática fundamentada na teoria



Fonte: elaborado pela autora

Buscou-se demonstrar como uma sistemática voltada para as necessidades empresariais pode ser desenvolvida, acrescentando os requisitos gerais inovadores e tecnológicos que foram trabalhados durante a pesquisa.

A sistemática não busca ser prescritiva, e sim generalista, proporcionando as organizações meios para o exercício da mudança e adaptações baseadas nas discussões durante o processo. Assim, deve ser feita uma análise do alinhamento entre o que foi identificado e a estratégia da empresa (PILLKAHN, 2008). É importante que os membros da equipe tenham em mente os resultados esperados no final de cada etapa; não sendo apenas para manter o foco nos pontos relevantes, mas para garantir que, no final de todo o processo, a equipe tenha os blocos e níveis para a integração. É desejável verificar periodicamente a sistemática, com a finalidade de acompanhar as mudanças e avaliar o alcance e o progresso das metas.

Apresentada a sistemática, a pesquisa avança para a etapa de análise de especialistas acadêmicos com experiência em indústria 4.0.

### 3.4. ANÁLISE DE ESPECIALISTAS ACADÊMICOS

A sistemática fundamentada na teoria foi construída com base na revisão da literatura sobre as temáticas. Essa foi submetida à análise de especialistas para verificar sua adequação para ambientes empresariais e acadêmicos. Esta adequação foi realizada com três especialistas que desenvolvem atividades ligadas aos conceitos da indústria 4.0, no âmbito acadêmico e empresarial.

A análise por parte dos especialistas utilizou o questionário (Apêndice C) como meio de coleta de dados, sendo esse validado por meio de um teste piloto. No teste piloto foi solicitado que o especialista (Quadro 11) analisasse o questionário considerando suas questões. O especialista indicou pequenas mudanças na formatação e recomendou como meio de coleta dos dados formulários eletrônicos, para facilitar o preenchimento pelos respondentes.

Os especialistas foram selecionados segundo os critérios:

- Experiência de mais de oito anos em indústria 4.0 na área de engenharia. Esse período de tempo foi determinado, pois se adequa ao tempo em que a indústria 4.0 começou a ser discutida (SCHLICK *et al.*, 2012), além de manter a coerência com o início das publicações sobre o tema e reforçar a engenharia como área de conhecimento dos estudos, como visto na revisão bibliográfica.
- Possuir doutorado, pois essa formação implica no domínio do método de pesquisa.
- Ser brasileiro.

Os potenciais especialistas foram selecionados na plataforma lattes por meio da busca de currículo, atuação profissional (engenharia), assunto (indústria 4.0) e titulação (doutor). A Tabela 3 mostra os dados.

Tabela 3. Potenciais especialistas

Filtros	Quantidade de currículos lattes encontrados
Área de atuação: Engenharias, possuir doutorado e ser brasileiro	1058
Experiência de mais de oito anos em indústria 4.0	10

Fonte: elaborado pela autora

Selecionado os especialistas, foram executadas quatro ondas de envios da pesquisa. A Tabela 4 mostra as datas das ondas de envio, o número de especialistas e respostas.

Tabela 4. Ondas de envios

Datas das ondas de envio	Número de especialistas	Quantidade de respostas	Quantidade de recusas
15/03/2019	10	1	0
22/03/2019	9	1	1
29/03/2019	7	1	1
06/04/2019	5	0	0

Fonte: elaborado pela autora

A quarta onda foi enviada para tentar reduzir a variação de erro, porém, não se teve nenhuma resposta, interrompendo os envios. Para os julgamentos, realizados no período de março a abril de 2019, tem-se a descrição dos quatro especialistas respondentes (Quadro 11 e 12). Destaca-se que estes especialistas analisaram a sistemática fundamentada na teoria com base em suas experiências e recomendaram adequações.

Quadro 11. Descrição dos especialistas para teste piloto

Especialista	Critérios de seleção	
	Campo de conhecimento acadêmico e prático	Experiência
1 (Teste piloto)	Doutor em Engenharia Elétrica pela UNICAMP. Pós-Doutorado em Eletrônica. Atualmente é professor adjunto. Atuando principalmente nos seguintes temas: tecnologias emergentes e redes futuras.	Projetos em arquitetura de dados. Trabalha com os conceitos da internet das coisas, redes de comunicações móveis de próxima geração e soluções com IoT. Pesquisa e desenvolvimento de plataforma para <i>smart cities</i> . Publicações e trabalhos na área de inovação e indústria 4.0 como modelo de negócios (qualidade, <i>supplychain</i> , sustentabilidade, logística, otimização, realidade virtual e aumentada, entre outros). Experiência de mais de 8 anos em Indústria 4.0.

Fonte: elaborado pela autora

Quadro 12. Descrição dos especialistas para adequação da sistemática (continua)

Especialista	Critérios de seleção	
	Campo de conhecimento acadêmico e prático	Experiência
2	Doutor em Engenharia de Produção na Área de Gestão e Otimização com ênfase em Gerenciamento de Projetos pela UNESP. Certificado HCMP - <i>Human Change Management Professional</i> pelo HCMI, Certificado PMP- <i>Project Management Professional</i> pelo PMI - USA, Certificado em <i>Lean Manufacturing</i> na Universidade de Michigan, USA, Certificado <i>Green Belt</i> pela Siemens, Pós-graduado em Gerenciamento de Projetos pela Fundação Vanzolini / USP.	Atual <i>Regional Americas Process Automation &amp; Execution Systems Leader</i> na empresa Johnson & Johnson. Área de automatização de processos e produção, microprocessadores, eletrônica digital. Experiência em empresas, como a Siemens. Publicações sobre otimização e projetos industriais. Experiência de mais de 8 anos em Indústria 4.0.

Quadro 12. Descrição dos especialistas para adequação da sistemática (conclusão)

Especialista	Critérios de seleção	
	Campo de conhecimento acadêmico e prático	Experiência
3	Doutor em Engenharia Elétrica pela UNIFEI. Coordenador de cursos superiores em Controle e Automação (Engenharia e Tecnologia) pelo INATEL e professor de curso superior do INATEL. Experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Controle de Processos Eletrônicos, Retroalimentação, atuando principalmente nos seguintes temas: redes industriais, <i>ethernet</i> , meios físicos, instrumentação industrial, atuadores industriais e controladores industriais.	Coordenador e gestor de projetos em automação industrial pela empresa Sense Eletrônica. Área de Automação Eletrônica de Processos Elétricos e Industriais. Publicações (livros, artigos) na área de automação de sistemas e redes industriais e indústria 4.0. Tendo experiência de mais de 8 anos na área.
4	Doutor em Engenharia de Produção pela UNIMEP. Atualmente cursa pós-doutorado em Engenharia de produção na UNICAMP. Possui certificado de qualificação em <i>Project Management</i> (PMI) e <i>Green Belt</i> . Curso de especialização em Melhoria Contínua (5S, Kaizen, <i>Lean</i> ). Coordenador do <i>Sustainable Business Lab</i> -Laboratório de Negócios Sustentáveis - Possui experiência profissional de 23 anos como Gerente de Projetos Internacionais.	Pesquisas nas áreas de <i>Industry 4.0</i> / Manufatura Avançada / <i>Industrial Internet of Things</i> - Empreendedorismo / <i>Business Canvas</i> - Tecnologias Emergentes / <i>Disruptive Technologies</i> . Colaborador nas seguintes instituições - <i>Collaborative Research Network on Supply Chain 4.0</i> . Membro da SC4 - Associação Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Empresas Inovadoras (ANPEI). Membro do Comitê de Interação em Ciências e Tecnologia - Usina da Inovação / AgTechValley. Artigos, trabalhos, livros e congressos sobre indústria 4.0 e suas vertentes. Experiência de mais de 8 anos em Indústria 4.0.

Fonte: elaborado pela autora

Dos especialistas respondentes temos:

O Especialista 1 considerou todos os requisitos importantes em cada área, comentou sobre a importância das análises de riscos e da etapa de preparação da sistemática, sendo essa essencial para o entendimento das próximas etapas. Indicou melhorar a explicação dos termos, como *big data*.

O Especialista 2 considerou todos os requisitos importantes, sem tirar nenhum deles. Ele enfatizou as partes importantes de cada etapa e acrescentou comentários sobre cada uma dessas etapas. Na dimensão da análise de oportunidade, ele aconselhou considerar o risco de infraestrutura, visto que muitas vezes se tem a tecnologia inovadora, mas a infraestrutura requer alto investimento para viabilizar a iniciativa. Um exemplo é a mobilidade que utiliza *iPads* para eficiência operacional e requer *Wi-fi* no ambiente fabril. Usualmente, a capacidade de *Wi-fi*, quando existente, não atende a necessidade. Outros aspectos ligados à *cybersecurity* e políticas internas de tecnologia da informação podem bloquear ou atrasar em demasia o avanço dos projetos.

Foi indicado considerar também, na etapa de tecnologia da informação (TI), as questões de tecnologia das operações (OT), pois existem *gaps* entre as atividades de tecnologia da informação visando níveis mais altos da pirâmide de automação e sem a vivência nos níveis mais baixos. Isto causa um descompasso enorme e paradas relevantes de processos produtivos. Uma simples atualização de um *patch* (programa que atualiza ou corrige um *software*) do *Windows* pode parar a produção de uma fábrica. Um dos pontos considerados relevantes é a questão da legislação de TI que foi explicado nesta etapa da pesquisa.

Na dimensão da gestão integrada foi indicado falar sobre o ponto de integração entre tecnologia da informação e *Business*, eliminando a estrutura anterior que foca somente em sistemas corporativos financeiros e opera de forma estratificada entre serviços de rotina e projetos de inovação. Uma estrutura recente prevê uma área focada em *Business* (reforçando a função do analista e/ou gerente de negócios) e uma área de linha de produtos, na qual tem *experts* para diversas soluções que suportam o *business*.

A *cybersecurity* foi colocada como outro ponto relevante. Não deve ser confundido ou embutido na abordagem de legislação e sim nas políticas e procedimentos internos que modernizam a tecnologia da informação e focam na integração de TI e OT.

Sobre o armazenamento em nuvem, deve ser colocado os limitantes de *cybersecurity*. A maioria dos fornecedores de máquinas produtivas já incluíram em seu portfólio a manutenção preditiva com aplicativos operando em nuvem. O ponto é a coleta de dados no ambiente fabril e envio para nuvem externa (local ou em algum lugar do mundo). Isto pode ser feito simplesmente do *firewall* e VPN, contudo, fora de muitas políticas de tecnologia da informação, constituindo mais um *roadblock* (bloqueio) para avanço dos projetos da indústria 4.0.

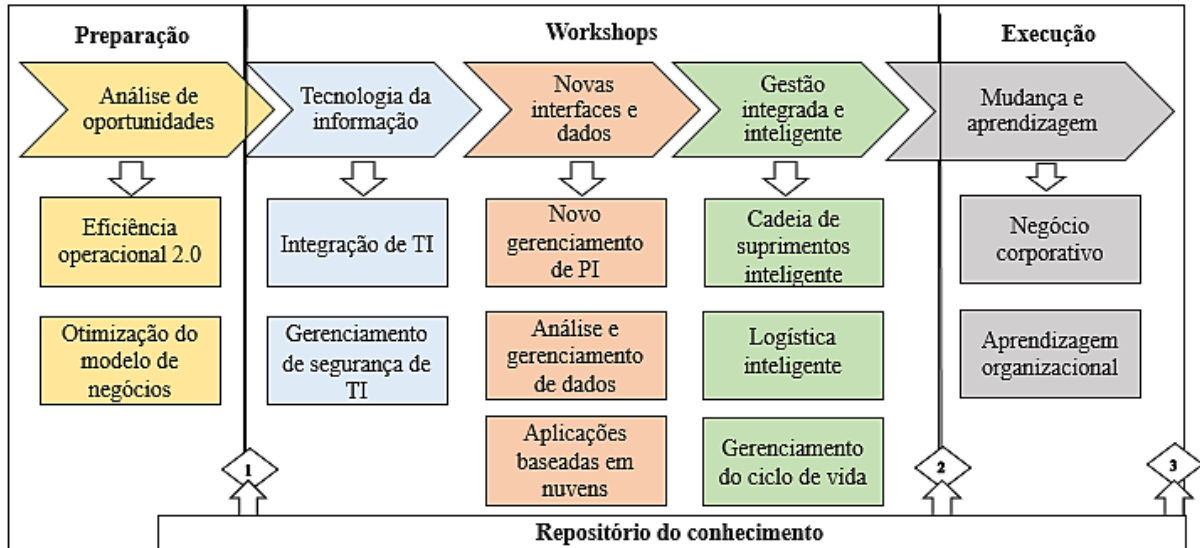
Para o Especialista 3 a proposta e os requisitos estão adequados e coerentes. Propôs assim que os quadros sobre TI, novas interface de dados e gestão devem ser melhor detalhados, referentes a como e o que será feito nos três níveis. Indicou a descrição de mais tecnologias na etapa do *workshop* e melhorias nos textos para indicar como, onde e por quem será realizada a gestão das informações, por exemplo. Ele considerou que todos os cinco requisitos são importantes, pois um depende do outro e são uma cascata. Porém, se tivesse que eleger o menos importante seria a execução, o último requisito.

Para o Especialista 4 todos os requisitos são importantes, destacando as etapas de tecnologia da informação e análise das oportunidades. Sobre a etapa de novas interfaces e dados foi indicado a ênfase nos termos de *big data* e armazenamento em nuvem. O especialista não indicou retirar nenhum requisito, porém, reforçando que cada etapa deve ser explicada em todos



seus conceitos. Após a incorporação das sugestões dos especialistas na sistemática fundamentada na teoria, esta foi consolidada na Figura 8 e nos Quadros 13 ao 17.

Figura 8. Sistemática teórica com a incorporação da prática (análise dos especialistas)



Fonte: elaborado pela autora

As mudanças que resultaram no Quadro 13 estão relacionadas ao risco de infraestrutura de TI, mostrando que é preciso investir tempo e recursos nessa questão para poder viabilizar as ações tecnológicas (MARQUARDT, 2017).

Quadro 13. Análise de oportunidades (Sistemática teórica com a incorporação da prática)

<b>Análise de Oportunidades</b>		
<b>Requisitos Gerais</b>	<b>Eficiência operacional 2.0</b>	<b>Otimização do modelo de negócios</b>
<b>Descrição</b>	A análise, avaliação e aplicação eficazes dos dados coletados de máquinas e sensores possibilitam a rápida tomada de decisões para melhorar a segurança operacional, os processos de trabalho e a manutenção. A transparência não apenas torna os processos de desenvolvimento e produção mais eficientes, mas também oferece reduções substanciais nos custos.	A indústria 4.0 significa lidar com novas abordagens radicais para os negócios, em vez de simplesmente fazer melhorias incrementais nos modelos de negócios estabelecidos. Para conseguir isso, as empresas precisam desenvolver novas habilidades, tanto no nível de funcionários individuais quanto na organização como um todo.
<b>Desafios</b>	A transformação digital para o setor 4.0 também oferece novas oportunidades para impulsionar a eficiência operacional que cria vantagens competitivas de longo prazo, tanto em confiabilidade quanto em preço.	Uma abordagem unicamente de cima para baixo criará resistência na organização, ao passo que a introdução de bolsões de inovação nos negócios tradicionais provocará uma reação de funcionários menos engajados. Empresas bem-sucedidas desenvolvem novos segmentos no limite de seus negócios que se tornam centrais.
<b>Riscos</b>	Incompatibilidade de sistemas, substituição da mão de obra e risco de infraestrutura, visto que muitas vezes se tem a tecnologia inovadora, mas a infraestrutura requer alto investimento para viabilizar a iniciativa	
<b>Lacunas</b>	Integração com outros ambientes organizacionais, aplicabilidade industrial e exploração de técnicas.	Novas ferramentas, abordagens e perspectivas industriais. recomendações e mecanismos em abordagens flexíveis industriais.
<b>Vantagens e tendências</b>	A eficiência operacional molda a nova visão industrial, relacionada as mudanças, devido a isso, pode ser considerada um tema importante.	Os modelos de negócio voltados para a indústria 4.0 caracterizam uma nova forma de entender a indústria de forma clara e tecnológica, visando o crescimento consciente e enxuto. Sendo a performance industrial uma tendência.
<b>Literatura</b>	Tang e Yang (2016); Parida <i>et al.</i> (2016); Penas <i>et al.</i> (2017); Marquardt (2017); Rauch <i>et al.</i> (2018); Tseng, Lee e Tai (2019)	Schuh <i>et al.</i> (2014); Guerrero e Terriza (2017); Mueller, Chen e Riedel (2017); Chen, Tai e Chen (2017); Ma <i>et al.</i> (2017); Hortelano <i>et al.</i> (2017); Ferrari <i>et al.</i> (2018)

Fonte: elaborada pela autora

As mudanças que resultaram no Quadro 14 estão relacionadas a *cybersecurity* e políticas internas de segurança, tecnologia das operações e legislação de TI (LOPEZ *et al.*, 2018). Todas elas são questões referentes a segurança dos dados em rede e na sua operacionalização.

Quadro 14. Tecnologia da Informação (Sistemática teórica com a incorporação da prática)

<b>Tecnologia da Informação</b>		
<b>Requisitos Gerais</b>	<b>Integração de TI</b>	<b>Gerenciamento de segurança de TI</b>
<b>Descrição</b>	Soluções novas e combinadas precisam ser desenvolvidas a partir de uma variedade de componentes, desde fornecedores de sensores, módulos, sistemas de controle, redes de comunicação, aplicativos comerciais e aplicativos voltados para o cliente. As empresas que se adaptam e integram em uma nova solução abrangente garantirão uma vantagem de longo prazo no mercado.	As empresas precisam de um sistema de gerenciamento de risco sob medida e de uma estratégia de segurança voltada para a segurança cibernética, com o objetivo de melhorar a segurança operacional e a proteção contra ataques em toda a cadeia de valor.
<b>Desafios</b>	As infraestruturas de TI existentes são muito fragmentadas e resultam em redes de baixa qualidade. Trabalhar com os conceitos do TI aliados a tecnologia de operações (OT), para não ocorrer descompassos no processo produtivo.	Uma extensa rede de contatos e os altos níveis de compartilhamento de dados envolvidos na indústria 4.0 aumentam consideravelmente as demandas feitas em segurança de dados.
<b>Riscos</b>	Falta de segurança e robustez dos sistemas de informação, como na legislação e dificuldades de expansão dos serviços de internet e comunicação. Além da dificuldade da gestão da <i>cyber</i> segurança que moderniza o TI e integra com o OT, porém pode atrasar os projetos.	
<b>Lacunas</b>	Implementação para outras áreas de pesquisa.	Dificuldades tecnológicas que a segurança de TI impõe as organizações.
<b>Vantagens e tendências</b>	Vantagem da pesquisa está relacionada ao assunto das características da nova indústria.	Os estudos implicam em um desenvolvimento necessário para a ciência que se expande rapidamente e precisa de segurança para isso.
<b>Literatura</b>	Patelay (2013); Bologna <i>et al.</i> (2017); Bauerdick <i>et al.</i> (2017); Lopez <i>et al.</i> (2018); Xu <i>et al.</i> (2019)	Mueller <i>et al.</i> (2017); Sha, Xiao e Chen (2018); Dieber <i>et al.</i> (2018); Tsuchiya <i>et al.</i> (2018); Kieseberg e Weippl (2018)

Fonte: elaborada pela autora

As mudanças que resultaram no Quadro 15 estão relacionadas aos limitantes de *cybersecurity*. Foram melhores explicados os conceitos de *big data* e armazenamento em nuvem (EROL; SIHN, 2017).

Quadro 15. Novas interfaces e dados (Sistemática teórica com a incorporação da prática)

Novas interfaces e dados			
Requisitos Gerais	Novo gerenciamento de Propriedade Intelectual	Análise e gerenciamento de dados	Aplicações baseadas em nuvem
<b>Descrição</b>	Novos modelos de negócios e novos modelos de cooperação que surgirem como resultado da indústria 4.0 exigirão soluções novas e individuais para o problema de PI (propriedade intelectual).	As empresas precisam desenvolver novas habilidades especializadas nas áreas de análise e gerenciamento eficiente de dados, e implementar novos processos de negócios com base nas informações que essa análise revela.	Armazenamento de dados na internet por meio de um provedor de computação na nuvem. O serviço é fornecido sob demanda, com capacidade e custos just-in-time, e elimina o armazenamento físico de dados. Há vantagens específicas para sistemas de produção inteligente em rede descentralizada, onde o poder de computação permitirá que aplicativos baseados em nuvem forneçam acesso universal e a qualquer momento a todos os dados-chave. Isso simplifica a coleta, o monitoramento, a distribuição e a análise de dados, não apenas entre fábricas, mas também em toda a rede de cadeia de valor.
<b>Desafios</b>	As questões de propriedade intelectual não se concentram apenas em impressoras 3D, tecnologia de impressoras e materiais, mas também em sistemas e planos.	A indústria 4.0 gera enormes quantidades de dados. Reunir, analisar e processar esses dados gera novos insights, apoiando a tomada de decisões e criando uma vantagem competitiva.	A rede de soluções baseadas em nuvem oferece oportunidades para hospedar e fazer uso eficiente dos grandes dados gerados pela indústria 4.0. As soluções baseadas em nuvem são cada vez mais cruciais para o setor 4.0.
<b>Riscos</b>	Dificuldades na estrutura de <i>big data</i> da organização. <i>Big data</i> descreve o grande volume de dados que sobrecarrega as empresas diariamente, devendo ser usado para obter insights que levam a decisões melhores e ações estratégicas de negócio. E os limitantes que a <i>cyber</i> segurança pode trazer, principalmente se falando de armazenamento em nuvens, visto a política de TI que pode ocasionar em bloqueios no avanço dos projetos de indústria 4.0.		
<b>Lacunas</b>	Discussão dos paradigmas da tecnologia e integração, além da aplicabilidade nos diferentes domínios.		Tratamento de idéias, criação de protótipos, aliar técnicas com ferramentas de <i>software</i> , entre outras melhorias de sistemas.
<b>Vantagens e tendências</b>	Integração industrial, sua performance e abordagem.		A discussão é atual e presente não só nas organizações, mas no dia a dia de quem faz uso das tecnologias, podendo ser considerada parte de uma nova engenharia de tratamento de dados.
<b>Literatura</b>	Peters (2017); Papakostas (2017); Wang <i>et al.</i> (2017); Sivanathan <i>et al.</i> (2018)	Harpham, Cleverley e Kelly (2014); Cheng <i>et al.</i> (2016); Goguelin <i>et al.</i> (2017); Ras <i>et al.</i> (2017)	Thames e Schaefer (2016); Fischer e Senft (2016); Erol e SihN (2017); Wu, Terpenney e Schaefer (2017)

Fonte: elaborada pela autora

O Quadro 16 mostra as mudanças relacionadas a ponto de integração entre tecnologia da informação e *Business* (BLANCO *et al.*, 2018).

Quadro 16. Gestão integrada e inteligente (Sistemática teórica com a incorporação da prática)

<b>Gestão integrada e inteligente</b>			
<b>Requisitos Gerais</b>	<b>Cadeia de suprimentos inteligente</b>	<b>Logística inteligente</b>	<b>Gerenciamento do ciclo de vida</b>
<b>Descrição</b>	A transformação digital cria um único banco de dados, tornando as cadeias de suprimentos mais inteligentes, mais transparentes e mais eficientes em todas as etapas, desde as necessidades do cliente até a entrega. As funções de pesquisa e desenvolvimento, aquisição e compra, produção e vendas são cada vez mais alinhadas à medida que a digitalização avança. As empresas de sucesso usam melhores comunicações para integrar as necessidades de fornecedores e clientes em todas as atividades de criação de valor.	Na sequência da digitalização, os processos logísticos estão se tornando mais inteligentes em todas as novas gerações de redes de cadeias de valor globais (logística inteligente). Isso se aplica à logística de entrada, logística interna e logística de saída.	A transformação digital para o setor 4.0 possibilitará fornecer dados relevantes para o gerenciamento do ciclo de vida a qualquer hora e em qualquer lugar. Esses dados incluem, não apenas informações e relatórios, mas também os resultados do processamento de big data para gerar indicadores precoces relevantes por meio do uso de inteligência artificial (IA). A IA utiliza a verificação cruzada global e avalia a plausibilidade de gerar bases relevantes para a tomada de decisão apoiada pelos dados.
<b>Desafios</b>	O foco particular em novos modelos que são adaptados às necessidades individuais dos clientes e permitem novos modelos cooperativos com parceiros de negócios, coloca novas demandas na cadeia de suprimentos. Um dos desafios de gestão é a integração entre TI e <i>Business</i> , eliminando as estruturas estratificadas e de serviços de rotina. Uma estrutura recente prevê uma área focada em <i>Business</i> .	Grandes desafios são colocados pela integração de tecnologias autônomas, sistemas logísticos flexíveis, novos serviços, novos modelos de armazenamento e distribuição e a interligação entre produção interna, pré-montagem e provedores de serviços externos.	Isso permitirá que as empresas entendam e atendam melhor às necessidades de seus clientes, bem como personalizem os ciclos de produtos.
<b>Riscos</b>	Impacto que as mudanças podem trazer nas relações de consumo entre clientes e empresa.		
<b>Lacunas</b>	Discussão além da simulação teórica, integração com outros processos de design, conceitos e dificuldades de pequenas e médias empresas.		
<b>Vantagens e tendências</b>	Temas relevantes relacionados ao desenvolvimento da tecnologia atual em grande escala, sem esquecer das pequenas e médias empresas tecnológicas, que contribuem para o crescimento desse cenário organizacional de desenvolvimento de <i>software</i> , trabalhando em conjunto.		
<b>Literatura</b>	Zarour e Alharbi (2017); Li e Si (2017); Kannan <i>et al.</i> (2017); Blanco <i>et al.</i> (2018); Frazzon <i>et al.</i> (2019); Vrchota e Pech (2019)	Muller <i>et al.</i> (2015); Bauerdick <i>et al.</i> (2017); Zhou <i>et al.</i> (2017); Gust <i>et al.</i> (2017); Ferrari <i>et al.</i> (2018); Bonavolonta <i>et al.</i> (2019)	Pfeiffer, Hellmers e Schoen (2017); Erol e Sihm (2017); Lorenz <i>et al.</i> (2016); Safar <i>et al.</i> (2018); Liu <i>et al.</i> (2020); Salehi (2020)

Fonte: elaborada pela autora

Não ocorreram mudanças no Quadro 17.

Quadro 17. Mudança e aprendizagem (Sistemática teórica com a incorporação da prática)

<b>Mudança e aprendizagem</b>		
<b>Requisitos Gerais</b>	<b>Negócio corporativo</b>	<b>Aprendizagem organizacional</b>
<b>Descrição</b>	O empreendimento corporativo oferece às empresas oportunidades para investir em novas tendências em um estágio inicial e para se beneficiar de inovações disruptivas e tecnologias exponenciais. Investir em start-ups permite que as empresas se envolvam no desenvolvimento de inovações e assegurem sua competitividade a longo prazo. Tais investimentos permitem uma visão inicial e conveniente das novas tecnologias.	As empresas precisam se tornar organizações de aprendizado se quiserem aproveitar ao máximo o potencial das tecnologias exponenciais para alcançar a transformação digital para a indústria 4.0. Novas ideias, processos e segmentos de negócios são mais bem sucedidos quando começam como um nicho onde a aprendizagem continua, e depois gradualmente migram para o centro da organização para se estabelecerem como um novo segmento líder.
<b>Desafios</b>	Assim, uma nova área de negócios pode ser criada, o que pode se tornar o novo centro dos negócios no futuro. Se tais oportunidades forem perdidas, a sobrevivência das empresas pode estar em risco.	O uso e a integração de tecnologias exponenciais precisam ser graduais, mas estáveis. A aprendizagem é a chave para o desenvolvimento organizacional sustentável. A mudança, que é muito rápida, pode ser contraproducente.
<b>Riscos</b>	Difusão do novo cenário tecnológico para estudantes e pesquisadores.	
<b>Lacunas</b>	Mudança de perspectivas conceituais e desenvolver os desafios relacionados a <i>software</i> e as áreas de estudo.	
<b>Vantagens e tendências</b>	As vantagens estão relacionadas ao desenvolvimento tecnológico que o negócio e a aprendizagem trazem a organização. Direcionando-se a aprendizagem ativa e novas formas de estudo, que se integram e contribuem para o desenvolvimento da indústria. Esse movimento de ciência aliada a prática tende a quebrar diversas barreiras dentro e fora das organizações tecnológicas.	
<b>Literatura</b>	Prause e Weigand (2016); Vila <i>et al.</i> (2017); Hortelano <i>et al.</i> (2017); Bologna <i>et al.</i> (2017); Erol e Sihm (2017); Kabugo <i>et al.</i> (2020)	Bi <i>et al.</i> (2016); Bullinger <i>et al.</i> (2017); Giorgio <i>et al.</i> (2017); Sivanathan, Ritchie e Lim (2017); Telles, Vianna e Le Roux (2018); Hee, Lee e Shvetsova (2019)

Fonte: elaborada pela autora

É importante observar que as etapas da sistemática são estabelecidas pelos gerentes ou administradores encarregados das áreas de tecnologia e produção, por meio de grupos de discussões. Essas discussões e aplicações devem se estender por todos os representantes dos níveis organizacionais envolvidos com o desenvolvimento de *software*.

Os próximos capítulos (4 e 5) tratarão sobre a modelagem e a análise de especialistas, visando abordagens combinadas de adequação da sistemática. A modelagem se faz necessária para priorizar os requisitos gerais com o intuito de criar uma sistemática para o desenvolvimento de *software* na indústria 4.0.

#### 4. PRIORIZAÇÃO DAS ETAPAS DA SISTEMÁTICA POR MEIO DA MODELAGEM

Para Martins (2012), os métodos de pesquisa mais apropriados para se conduzir uma pesquisa quantitativa são: pesquisa de avaliação, modelagem ou simulação, experimento e quase-experimento. Nesta pesquisa foi utilizada a modelagem por meio da aplicação do método AHP em uma abordagem combinada. A modelagem consiste no processo de criar e experimentar um sistema físico através de um modelo matemático (CHUNG, 2004). Por meio da expressão e construção de modelos pode-se desenvolver o seu próprio entendimento sobre o funcionamento dos sistemas dinâmicos (RILEY, 1990).

Para Morabito e Pureza (2012), um dos principais desafios dos gestores em ambientes empresariais é o da tomada de decisão para que o sistema opere da melhor forma possível. Nesses casos, a utilização de modelos permite a melhor compreensão desse ambiente, identificação dos problemas, formulação de estratégias e oportunidades e o apoio e sistematização do processo de tomada de decisões. Segundo Salomon (2010), para os métodos de tomada de decisão, a modelagem consiste, basicamente: na identificação dos critérios e das alternativas de decisão; na atribuição de valores de importância para os critérios e para o desempenho das alternativas; na síntese dos resultados. De acordo com Furtado (2003), a modelagem possui os seguintes objetivos: construir evolutivamente o conhecimento; explicitar e lapidar as representações mentais sobre um conhecimento; perceber o mundo a partir de uma visão dinâmica de sistemas.

A justificativa para a escolha da modelagem está relacionada ao objetivo do estudo, entender o que é realmente importante no sistema para a finalidade em questão (CHWIF; MEDINA, 2010). O método AHP foi selecionado devido à necessidade de se definir uma estrutura que considere os requisitos gerais do desenvolvimento de *software* no contexto da indústria 4.0, estabelecendo critérios e subcritérios e da necessidade de priorização desses mesmos fatores. A priorização é importante posto que é preciso determinar uma sequência baseada nos pesos e nas importâncias, principalmente dos subcritérios, aumentando assim a relevância da sistemática.

##### 4.1. JUSTIFICATIVAS PARA O USO DO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)

De acordo com Saaty (1980), o AHP é um método de apoio à decisão usando múltiplos critérios. Diversas pesquisas reconhecem o AHP como um método adequado para resolver

problemas da tomada de decisão multicriterial em diversas áreas e diversos setores para seleção e hierarquização. Entre os pesquisadores do assunto podemos citar: Saaty (1980); Aguiar e Salomon (2007); Bozbura, Beskese e Kahraman (2007); Salomon e Whittaker (2007); Kang e Lee (2007); Partovi (2007); Huang, Chu e Chiang (2008); Nepal, Yadav e Murat (2010); Lee e Geum (2017). Entre os estudos sobre o AHP com enfoque no setor industrial temos: Chen, Lee e Tong (2006) que empregou três critérios - organização e mercado, capacidade de fabricação, tecnologia e engenharia - e os 10 subcritérios correspondentes para a seleção do mix de produtos. Lee *et al.* (2011) empregaram um AHP nebuloso para priorizar os pesos relativos das tecnologias de energia de hidrogênio para desenvolver o roteiro de tecnologia de energia (ETRM) sob um orçamento finito de P&D. Da mesma forma, Kim *et al.* (2009) utilizou o AHP para priorizar os programas de pesquisa baseados em fusão de tecnologia. As áreas de critérios de avaliação são as seguintes: 1) possibilidade de criação de um novo mercado; 2) necessidades do mercado; 3) adequação da política; 4) grau de alcance da meta; e 5) tamanho do mercado futuro. O processo de rede analítica (ANP), uma generalização do AHP, também tem sido discutido em grande parte da literatura, especialmente para problemas estratégicos de tomada de decisão (LEE *et al.*, 2008; LEE *et al.*, 2019).

O AHP é o método de tomada de decisão multicriterial com maior quantidade de publicações científicas (WALLENIOUS *et al.*, 2008). Mas, mesmo assim, ainda sofre críticas a respeito do seu desempenho. Contudo, Salomon (2010) apresenta argumentos contrários a essas críticas. O AHP é fundamentalmente uma forma de trabalhar os fatores tangíveis e intangíveis, utilizando comparações em pares. É um processo de estabelecer uma estrutura de todos os fatores essenciais que influenciam o resultado da decisão. As comparações expressam a compreensão das pessoas sobre a importância, preferência ou provável influência dos elementos sobre o resultado final obtido, sintetizando as prioridades derivadas de diferentes conjuntos de comparações (WHITAKER, 2007). O AHP foi desenvolvido devido à necessidade de incluir critérios que não são mensuráveis no sentido absoluto (SAATY; OZDEMIR, 2005).

O método permite decisões subjetivas simultâneas, além das informações quantitativas no processo de avaliação favorecerem o processo decisório. O AHP é fácil de ser usado e adaptável à decisões em grupo e individuais (SHANG; TJADER; DING, 2004). Da mesma forma, pesquisas como Mohanty *et al.* (2005), Hsu, Tzeng e Shyu (2003) e Calantone, Benedetto e Schmidt (1999), propõe a utilização do AHP para seleção e hierarquização de projetos de produtos para as empresas. Lima, Ramos e Júnior (2009) mostram que o AHP é bastante utilizado em problemas de transportes. Segundo Ho (2008), ele tem sido estudado e aplicado extensivamente em problemas de decisão de múltiplos critérios em função da



simplicidade, facilidade de uso, grande flexibilidade e pela possibilidade de integração com outras técnicas como a programação matemática.

Segundo Shimizu (2010), o AHP tem sido empregado para situações de: definição de prioridades, avaliação de custos e benefícios, alocação de recursos, mensuração de desempenho, avaliação ou pesquisa de mercado, determinação de requisitos, decisões estratégicas, planejamento e sequenciamento de atividades, previsão de cenários, negociação e resolução de conflitos, decisões e previsões políticas ou sociais e análise de decisão sob risco. Para Vaidya e Kumar (2006) o AHP é utilizado em quase todas as aplicações relacionadas à tomada de decisão, sendo utilizado em diversas áreas como seleção, avaliação, análise de custo-benefício, alocação, planejamento e desenvolvimento, prioridade e classificação. Iwasaki e Tone (1998) reforçam esta visão afirmando que a vantagem do AHP sobre outros métodos de tomada de decisão é a habilidade de incorporar critérios tangíveis ou intangíveis nas diferenças individuais, quando isto se constitui em importante parte do processo decisório.

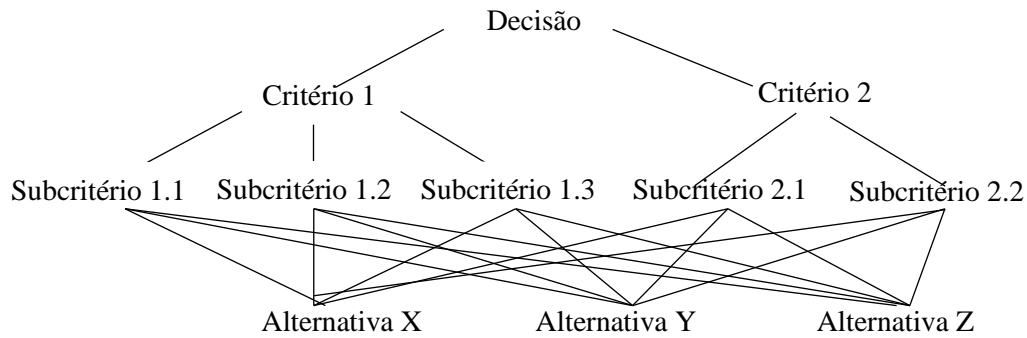
O método evoluiu gradualmente através de várias aplicações tão diversas quanto alocação de energia, decisões de marketing, seleção de projetos, seleção de tecnologia, triagem de novos produtos e resolução de conflitos (CHEN; LEE; TONG, 2006; GERDSRI; KOCAOGLU, 2007; FENWICK; DAIM; GERDSRI, 2009; KIM *et al.*, 2009; LEE *et al.*, 2011). Essa tese utiliza o AHP para priorizar os requisitos gerais do desenvolvimento de *software* na indústria 4.0.

#### 4.2. O MÉTODO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)

O método usa comparações aos pares e álgebra matricial para identificar e pesar os critérios importantes em uma decisão. Esses critérios, seus pesos e os atributos de cada tecnologia são aplicados para classificar as alternativas concorrentes de acordo com um objetivo declarado (WINEBRAKE; CRESWICK, 2003). Salomon (2004) apresenta três passos para a realização do AHP: estruturação, atribuição de pesos e síntese dos resultados. A estruturação é a decomposição do problema em uma árvore hierárquica composta, no mínimo, de três níveis: um objetivo, critérios (com ou sem subcritérios) e alternativas. Segundo Lee e Geum (2017) esse níveis também seguem as premissas trabalhadas por Saaty (1990).

A Figura 9 apresenta um exemplo da estrutura hierárquica básica.

Figura 9. Exemplo de árvore de decomposição do método AHP



Fonte: Adaptado de Vieira (2006)

Uma matriz de comparações entre os critérios, dois a dois, deve ser preenchida. Para as comparações, geralmente, se adota uma escala linear de 1 a 9, denominada de Escala Fundamental de Números Absolutos (SAATY; OZDEMIR, 2005), ou, simplesmente, Escala Fundamental. O Quadro 18 apresenta a Escala Fundamental de valores para comparação em pares.

Quadro 18. Escala Fundamental

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	Duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Fraca importância de uma sobre a outra	Experiência e julgamento favorecem ligeiramente uma atividade em relação a outra
5	Essencial ou forte importância	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra
7	Importância demonstrada	Uma atividade é fortemente favorecida e sua dominância é demonstrada na prática
9	Absoluta importância	A evidência favorecendo uma atividade sobre a outra é a mais alta ordem de afirmação
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre dois julgamentos sucessivos	Quando se deseja um maior compromisso

Fonte: Saaty (1990)

Segundo Saaty (1990) para a realização e análise dos julgamentos, o método AHP trabalha com matrizes de decisão quadradas de ordem  $n$  e os autovetores a elas relacionados. A Equação 1 demonstra a relação entre a Matriz de Decisão  $A$  e o autovetor  $w$ , que representa a importância dos critérios ou das alternativas dentro de um critério. O elemento  $\lambda$  é conhecido como autovalor.

$$A w = \lambda w \quad (1)$$

A matriz  $A$  tem a forma:

$$A = (a_{ij})_{m \times m} = \begin{matrix} C1 \\ C2 \\ \vdots \\ Cm \end{matrix} \begin{vmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{1m} \\ B_{21} & B_{22} & B_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{mm} \end{vmatrix} \quad (2)$$

As matrizes são construídas por meio de comparações realizadas por um ou mais especialistas, em que a alternativa  $i$  é comparada à alternativa  $j$  em relação a um critério considerado. A intensidade de importância é utilizada para indicar o quanto a alternativa  $i$  é mais importante que a alternativa  $j$  em relação ao critério que está sendo analisado. O número total de julgamentos da matriz é calculado de acordo com a Equação 3.

$$Q = \sum_{i=1}^{N=1} \frac{n_i(n_i-1)}{2} \quad (3)$$

O valor de  $\lambda_{max}$ , que é a estimativa do maior autovalor ( $\lambda$ ) da Equação 2, tem uma grande importância uma vez que ele pode fornecer o grau de coerência dos julgamentos. Saaty (1990) diz que a Matriz  $A$  é dita consistente se, e somente se  $\lambda_{max} > n$ . A verificação da consistência da matriz de comparações, toma como base o índice de consistência,  $\mu$ , conforme a equação 4

$$\mu = (\lambda_{max} - n)/(n - 1) \quad (4)$$

O grau de consistência é chamado CR (do inglês *Consistency Ratio*) ou de Razão de Consistência e é dado pela Equação 5.

$$CR = \frac{(\lambda_{max} - n)/(n - 1)}{RI} \quad (5)$$

Sendo RI (*Random Index*) o índice aleatório, cujo valor varia de acordo com a dimensão da matriz de comparação paritária. A Tabela 5 mostra os valores de RI para a matriz de comparação, ordenados de 1 a 10 (SAATY, 1990). Se  $CR \leq 0,1$ , a matriz de comparação terá uma coerência aceitável, caso contrário os julgamentos poderão ser revistos (SAATY, 1990).

Tabela 5. Valores de RI para a matriz de comparação ordenados de 1 a 10

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Saaty (1990)

Existem várias formas para agregar as informações individuais em um processo de tomada de decisão em grupo. Referente ao método AHP, Forman e Peniwati (1998) apresentam três diferentes formas:

- Associação dos julgamentos individuais para cada elemento ou par de comparações em uma hierarquia agregada: conhecida como AIJ (*Aggregation of Individual Judgments*), consiste na agregação dos julgamentos individuais para cada par de comparações. Essa técnica requer a disposição dos indivíduos de abandonarem suas próprias preferências (valores, objetivos) em prol da organização. A prioridade individual torna-se irrelevante, a identidade do indivíduo é perdida de maneira que o grupo se torna um novo indivíduo. Utiliza a média geométrica.
- Síntese de cada hierarquia individual e agregação das prioridades resultantes: conhecida como AIP (*Aggregating Individual Priorities*). Essa técnica é adequada para a tomada de decisões em grupo, na qual cada indivíduo possui seus próprios valores, objetivos, opiniões que são respeitados no decorrer da agregação. Pode ser computada utilizando-se a média geométrica ou aritmética.
- Agregação das prioridades derivadas individuais para cada nó da hierarquia.

Para a realização do AHP, quando há muitas alternativas, o número de julgamentos aumenta consideravelmente. Essa é uma das principais reclamações apresentadas por especialistas nesse tema (WEDLEY, 2009). Diversos autores possibilitaram soluções para isso, como Salomon e Shimizu (2006) que compara o AHP com outros métodos de Auxílio à Tomada de Decisão, evidenciando a eficiência do primeiro; e Harker (1987), que propôs o método IPC (*Incomplete Pairwise Comparison*), no qual não é necessária a realização de todos os julgamentos da matriz, sendo um algoritmo de redução de julgamentos. Visto a estrutura da sistêmica composta por poucos critérios e a não necessidade de alternativas, devido ao objetivo ser priorizar e entender a relação dos critérios e subcritérios, se optou por não usar nenhum algoritmo de redução de julgamentos. Assim, todos os julgamentos necessários na matriz foram completados sem redução do número de comparações.

#### 4.3. APLICAÇÃO DO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)

Para priorizar a estrutura dos requisitos obtidos nos capítulos 2 e 3, utilizou-se o método AHP por meio de planilhas do Excel®. Para os julgamentos, realizados no período de abril a agosto de 2019, obteve-se a resposta de sete especialistas (Quadro 19). Primeiramente, foi feita uma pesquisa por meio da Plataforma Lattes e selecionado 50 perfis de possíveis especialistas que tinham os requisitos: experiência industrial e acadêmica nos termos da indústria 4.0 e

familiaridade com o desenvolvimento de *software*. Foi feito o contato com esses especialistas por meio de telefonemas, emails e LinkedIn®. A descrição dos especialistas é mostrado no Quadro 19. Uma explicação adicional se deve ao número de especialistas. Segundo Nikou e Mezei (2013), Salgado *et al.* (2015) e Alvarenga, Salgado e Mendes (2018) no AHP não há necessidade de uma amostra representativa, pois o objeto de estudo são as decisões tomadas e não quem tomou a decisão.

Os critérios de seleção para os especialistas são: experiência de mais de oito anos em indústria 4.0 na área de engenharia (SCHLICK *et al.*, 2012), experiência industrial em áreas tecnológicas e de desenvolvimento de *software*, atuação em empresas de grande porte. Os especialistas 2 e 5 participaram da etapa anterior de adequação da sistemática. Esses critérios são importantes pois mostram o nível de conhecimento, experiências e habilidades que cada especialista possui com o tema.

Quadro 19. Descrição dos Especialistas para a aplicação do AHP (continua)

Especialista	Critérios de seleção	
	Relação com o tema abordado	Experiência
1	Mestre em Engenharia da Produção: FCA Unicamp - Limeira SP; Pesquisador do SBLab - Indústria 4.0, <i>Smart City</i> , <i>U-Healthcare</i> , <i>Lean Manufacturing</i> . MBA em Gestão da Produção: ESAMC - Campinas. Certificação <i>Black Belt</i> : INDG - Instituto Nacional de Desenvolvimento Gerencial. Especialista em <i>Lean Manufacturing</i> pela Kawasaki do Japão. Certificado pela JICA - <i>Japan International Cooperation Agency</i> no Programa de Co-criação de Conhecimento para o fortalecimento do setor de auto peças brasileiro. JICA Chubu - Nagoya Japão. Examinador do Prêmio Nacional da Qualidade nos ciclos de 2007 e 2008. <i>Lead Assessor</i> na norma NBR ISO 9001.	Vivência de 30 anos em ambientes industriais de grandes empresas atuando nas áreas de produção, qualidade e manutenção. Especialista na aplicação de técnicas para melhoria da qualidade e produtividade e na aplicação de modelos para o gerenciamento dos processos. Palestrante e instrutor em treinamento sobre Indústria 4.0, Qualidade e Manufatura Enxuta. Experiência em desenvolvimento de <i>software</i> . Professor em cursos de pós-graduação nas disciplinas de Gestão Estratégica, Gestão da Qualidade Total, Sistemas de Gestão Integrado, Gestão por Processos, Empreendedorismo, Mapeamento do Fluxo da Cadeia de Valor, Auditoria da Qualidade e Logística de Localização.
2	Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá (2013). Atualmente, é coordenador de cursos superiores em Controle e Automação (Engenharia e Tecnologia) do Instituto Nacional de Telecomunicações. Engenheiro Certificado PROFIBUS e PROFINET. Redes industrial HART e <i>WirelessHART</i> e Redes de Comunicação Industrial. Formação em otimização de performance analógica e Automação Hidráulica. Consultor de projetos pleno na área de Automação e Controle Industrial. Desenvolvimento de novos projetos e pesquisa de novas tecnologias aplicáveis às áreas de <i>Fieldbuses</i> .	Experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Controle de Processos Eletrônicos, Retroalimentação, atuando nos temas: redes industriais, ethernet, meios físicos, instrumentação industrial, atuadores industriais e controladores industriais. Atuou como coordenador e gestor de projetos em automação industrial pela empresa Sense Eletrônica. professor de curso superior do Instituto Nacional de Telecomunicações. Ministra as disciplinas: Automação e Controle industrial; Eletrônica Analógica; Eletrônica Digital; Redes Industriais. Ênfase em desenvolvimento de <i>software</i> na industria 4.0

Quadro 19. Descrição dos Especialistas para a aplicação do AHP (continuação)

Especialista	Critérios de seleção	
	Relação com o tema abordado	Experiência
3	<p>Trajatória profissional desenvolvida em empresas nacionais e multinacionais de renome do segmento automotivo em posições de destaque nas áreas de Gestão Negócios e Vendas, Operações, Engenharia e Controladoria, liderando equipes dedicadas e compartilhadas em diversas áreas. Forte atuação em planejamento de novos negócios e estratégias para manutenção e crescimento de <i>market share</i> na América do Sul. <i>Expertise</i> em gerenciamento de novos projetos de alta complexidade e desenvolvimento de estratégias de negócios para clientes diversos desde a definição do escopo até o <i>start up</i> de novas linhas de produção e fábricas. Prêmios de reconhecimento global por 3 anos consecutivos como Excelência em <i>Mentoring</i> e <i>Team Building</i>.</p>	<p>Larga experiência na Gestão de Engenharia e desenvolvimento de <i>software</i> promovendo a racionalização de recursos, padronização de atividades, compartilhamento de lições aprendidas e desenvolvimento de equipes. Expressiva atuação em propostas de novos conceitos de produtos baseados em melhores práticas de mercado, inovação e segmentação de portfólio para novos projetos. Experiência na Gestão de Plantas e times multifuncionais, processos <i>de turn around</i> em indústrias manufatureiras, gestão de P&amp;L e KPIs, conceitos e práticas de <i>Lean Manufacturing</i>, ferramentas de solução de problemas e gestão de mudanças. Responsável regional pela avaliação, aquisição e integração de nova unidade fabril da Delphi na Argentina;</p>
4	<p>Especialista em Digitalização, IIoT e Indústria 4.0 da SIEMENS. Atua nas áreas de: sistemas em nuvem, plataformas de automação, convergência TI e AT, conectividade IoT e IIoT industrial, segurança industrial de TI e sistemas de Gerenciamento de Energia. Desenvolvimento de produtos e soluções baseadas em: portal TIA, WinCC SCADA, Controladores S7-1500, Conectividade de rede SIMATIC NET e SCALANCE, <i>MindSphere</i> e Gerente de energia PRO.</p>	<p>Experiência com sistemas baseados em nuvem, protocolos industriais, plataformas de engenharia de conectividade e automação da Internet das Coisas. Desenvolvimento de <i>software</i> na indústria 4.0. Técnico dos conceitos do Portal TIA e promotor do PROFINET. (<i>MindSphere, AWS e IBM Cloud</i>). Uso de plataformas de engenharia de automação e conectividade IoT (MQTT e OPC UA) e trazendo-os para o chão de fábrica. Experiência em uso de redes industriais, buscando a convergência entre diferentes protocolos e combinando todos eles com soluções de rede de TI.</p>
5	<p>Doutor em Engenharia de Produção - Foco em Gerenciamento de Projetos - UNESP 2011. Líder de sistemas de automação e execução <i>Science Technology</i> na Johnson &amp; Johnson. Responsável pela transformação digital e estratégias, aprendizagem digital, Estratégias de Automação de Processos e Sistemas de Execução e Gerenciamento de Projetos para as plantas das Américas; Agente de Gerenciamento de Mudanças para Novos Sistemas de Automação Industrial, IoT e Manufatura para o Futuro (Indústria 4.0); Projetos estratégicos para melhorar a robustez do processo e aumentar a produtividade das operações da J&amp;J; Integridade de dados e suporte a trilha de auditoria para sistemas de automação e execução.</p>	<p>Carreira profissional desenvolvida em empresas relevantes como: Siemens Healthcare Diagnostics, Fleury Diagnostics, Janssen Cilag Pharmaceutical (Grupo J&amp;J), Johnson &amp; Johnson Consumer Products, Ethicon Inc (Grupo J&amp;J) e Promon / Elebra Telecom. Certificações internacionais: MBA, HCMP &amp; HCMBOK da HCMI, PMP da PMI - EUA, 6Sigma - Green Belt da Siemens Healthcare e <i>Lean Manufacturing Certification</i> da Michigan University. Habilidades de gestão com equipes multidisciplinares em Processos de Produção e Gerenciamento de Projetos, Engenharia Industrial, Manutenção e Gerenciamento de Ativos em Áreas de Manufatura, Projetos CIP, Startups e Comissionamentos de Novas Plantas. Experiência em desenvolvimento de <i>software</i>.</p>

Quadro 19. Descrição dos Especialistas para a aplicação do AHP (conclusão)

Especialista	Critérios de seleção	
	Relação com o tema abordado	Experiência
6	<p>Palestrante do TEDx. Na IBM Brasil é líder de vendas de Inteligência Artificial (Watson). Formado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia, com ênfase em Automação e Controle, participação no Movimento Empresa Junior e extensão internacional pela University of Guelph no Canadá. Tem MBA em Gestão Estratégica de Negócios e MBA em <i>Artificial Intelligence &amp; Machine Learning</i>, ambos pela FIAP. Co-fundador do Instituto Viae. Professor de pós-graduação no ESPM dos cursos: <i>Master</i> em Inteligência Artificial e <i>Data Science</i> Aplicados ao Marketing e MBA em <i>Big Data</i> Aplicado ao Marketing. Aceleração do programa de adoção da Plataforma de Inteligência Artificial da IBM no Ecossistema.</p>	<p>Desenvolvimento de projetos complexos utilizando Inteligência Artificial, <i>Machine Learning</i> e Ciência de Dados da IBM Cloud para resolver desafios de negócios de clientes da IBM dos seguintes setores: Finanças, Varejo e Bens de Consumo, Saúde, Educação, Governo, Mídia e Entretenimento, Telecomunicações, Industrial e Utilidades. Vendas de <i>Cloud</i>, <i>Watson</i>, <i>Machine Learning</i>, Inteligencia Artificial, <i>Blockchain</i> e Infraestrutura para o setor de Multi Indústria. Trabalhando nos esforços da IBM Brasil para desenvolvimento de <i>software</i> e desenvolvendo um ecossistema de ISVs, start-ups e parceiros de negócios que estão construindo uma nova classe de aplicativos cognitivos, serviços e soluções através do <i>Watson</i>.</p>
7	<p>Mestre em Business Administration - FGV, Gestão de projetos. Palestrante do tema Cloud Computing e validação de sistemas computadorizados seguindo GAMP5. Analista de Validação de Sistemas Computadorizados na Five Consulting. Trabalho nas áreas de Garantia da Qualidade e Tecnologia da Informação. Experiência na área de Qualificação de Fornecedores e Regulamentações GxP como, por exemplo, boas práticas de fabricação.</p>	<p>Conhecimento em: Programação e desenvolvimento de <i>software</i> na indústria 4.0. Ciclo de vida de Sistemas Computadorizados e de Equipamentos do Controle de Qualidade, Elaboração de documentação de Qualificação e Calibração, Segurança da Informação (<i>Electronic Records</i>, <i>Electronic Signatures</i>), RDC 69 (antiga RDC 249) - Boas práticas de fabricação de insumos farmacêuticos ativos, TIL, SOX (Norma que visa a criação de mecanismos de auditoria e segurança nas empresas, para evitar a ocorrência de fraudes, garantindo a transparência na gestão das empresas).</p>

Fonte: elaborada pela autora

Seguindo os passos para a realização do AHP por Salomon (2004) temos:

#### 4.3.1. Estruturação e atribuição de pesos

O objetivo, critérios e subcritérios para o julgamento foram definidos, sendo:

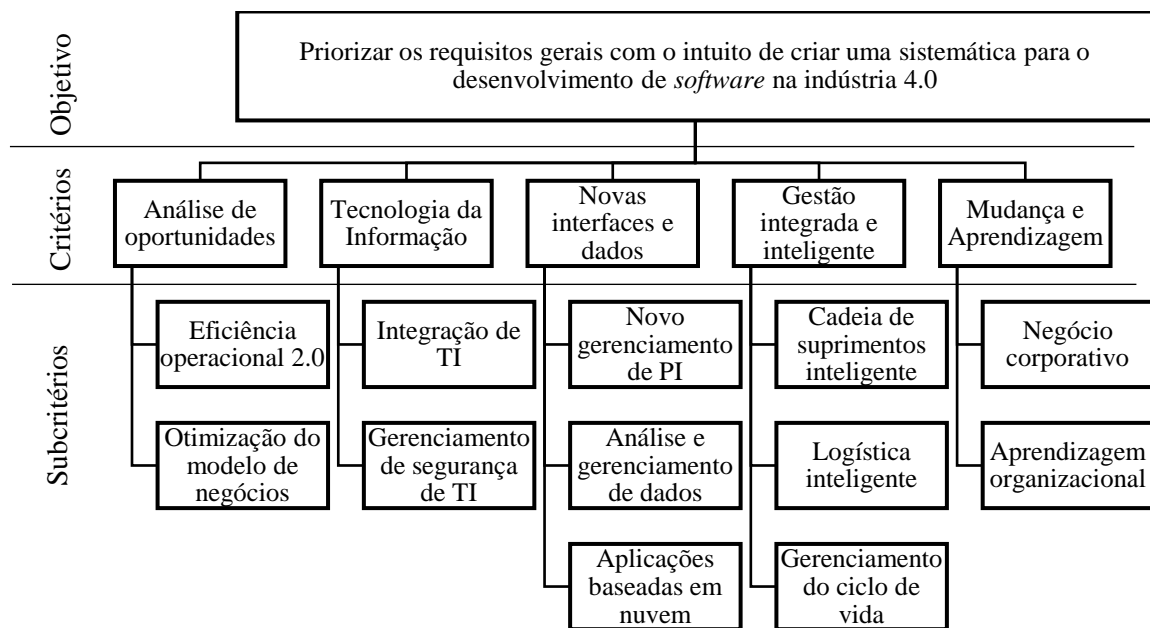
- Objetivo: Priorizar os requisitos gerais com o intuito de criar uma sistemática para o desenvolvimento de *software* na indústria 4.0
- Critérios: Análise de oportunidades (C<sub>1</sub>), Tecnologia da informação (C<sub>2</sub>), Novas interfaces e dados (C<sub>3</sub>), Gestão integrada e inteligente (C<sub>4</sub>) e Mudança e aprendizagem (C<sub>5</sub>).

- Subcritérios: Eficiência operacional 2.0 (SC<sub>1</sub>), Otimização do modelo de negócios (SC<sub>2</sub>), Integração de TI (SC<sub>3</sub>), Gerenciamento de segurança de TI (SC<sub>4</sub>), Novo gerenciamento de PI (SC<sub>5</sub>), Análise e gerenciamento de dados (SC<sub>6</sub>), Aplicações baseadas em nuvem (SC<sub>7</sub>), Cadeia de suprimentos inteligente (SC<sub>8</sub>), Logística inteligente (SC<sub>9</sub>), Gerenciamento do ciclo de vida (SC<sub>10</sub>), Negócio corporativo (SC<sub>11</sub>), Aprendizagem organizacional (SC<sub>12</sub>).

A estrutura obtida foi enviada aos especialistas para análise e aprovação. Dessa forma, a estrutura final contou com 5 critérios e 12 subcritérios. O resultado é apresentado na Figura 10, considerando o objetivo, critérios e subcritérios. É importante observar que devido ao objetivo ser priorizar e não escolher um em detrimento de outro, não houve a elaboração de alternativas.

Segundo Carmo *et al.* (2013) existe um grande número de AHP na prática com hierarquias incompletas, onde não ocorre a elaboração de alternativas. Como por exemplo, na priorização das necessidades do cliente, especificação de requisitos do produto, identificação de pesos para avaliação de serviço de qualidade, entre outros.

Figura 10. Estrutura inicial para priorização dos requisitos



Fonte: elaborada pela autora

As Tabelas 6 e 7 apresentam as comparações, entre os critérios e subcritérios, realizadas pelos especialistas de números um a sete, respectivamente. Os especialistas foram considerados igualmente importantes. Dessa forma, as comparações tiveram o mesmo peso quando agregadas. O peso local refere-se ao peso do item dentro do grupo de critérios ou subcritérios a que pertence e o peso global refere-se ao peso do item considerando todos os critérios ou



subcritérios existentes. O grau de consistência (CR) entre os julgamentos foi menor do que 0,10. As comparações restantes são encontradas no Apêndice D.

Tabela 6. Comparações realizadas pelo especialista 1 para priorizar os critérios

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	Peso
Análise de oportunidades (C <sub>1</sub> )	1	5	5	3	5	51,13%
Tecnologia da informação (C <sub>2</sub> )	0,20	1	2	1	3	16,20%
Novas interfaces e dados (C <sub>3</sub> )	0,20	0,50	1	3	3	15,30%
Gestão integrada e inteligente (C <sub>4</sub> )	0,33	1	0,33	1	1	10,07%
Mudança e aprendizagem (C <sub>5</sub> )	0,20	0,33	0,33	1	1	7,30%

Fonte: elaborada pela autora

Tabela 7. Comparações realizadas pelo especialista 1 segundo critério análise de oportunidades (51,1%)

	SC <sub>1</sub>	SC <sub>2</sub>	Peso Local	Peso Global
Eficiência operacional 2.0 (SC <sub>1</sub> )	1	7	87,5%	44,71%
Otimização do modelo de negócios (SC <sub>2</sub> )	0,14	1	12,5%	6,3875%

Fonte: elaborada pela autora

A Tabela 8 apresenta os vetores de priorização dos critérios obtidos a partir das comparações fornecidas pelos especialistas. Essa tabela também apresenta como resultado do vetor a média aritmética das prioridades individuais (AIP), de forma a se realizar uma comparação entre os resultados obtidos. Para a análise dos resultados, foi utilizado o vetor obtido por meio da técnica AIP, por ser a mais adequada para a tomada de decisões em grupo na qual cada indivíduo possui seus próprios valores, objetivos, opiniões que são respeitados no decorrer da agregação de modo que, diferentemente da AIJ, a AIP agrega os vetores de prioridades individuais de maneira a preservar a identidade do indivíduo (FORMAN; PENIWATI, 1998). Como os especialistas são de empresas diferentes, apresenta-se, assim, como a técnica indicada.

Carmo *et al.* (2013) mostram que para hierarquias incompletas a média aritmética deve ser usada para AIP. Usando a média geométrica as prioridades para os elementos de nível inferior terão uma soma diferente da prioridade do elemento superior. Em contrapartida, a média aritmética fornece prioridades globais e locais normalizadas diretamente do cálculo e promove resultados corretos para as prioridades. Justificando assim a escolha da média aritmética.

Pode ser observado, na Tabela 8, que o critério Análise de oportunidades (C<sub>1</sub>) obteve maior peso. Todos os julgamentos tiveram um CR abaixo de 0,10, indicando a consistência dos mesmos.

Tabela 8. Matriz de julgamento dos critérios

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	AIP
(C <sub>1</sub> )	51,13%	18,03%	35,01%	4,64%	61,03%	26,69%	48,33%	34,98%
(C <sub>2</sub> )	16,20%	36,07%	28,50%	28,18%	5,49%	8,16%	19,24%	20,26%
(C <sub>3</sub> )	15,30%	19,56%	25,38%	32,38%	10,84%	8,03%	14,06%	17,93%
(C <sub>4</sub> )	10,07%	8,31%	6,64%	15,70%	13,50%	11,25%	9,82%	10,75%
(C <sub>5</sub> )	7,30%	18,03%	4,47%	19,10%	9,14%	45,87%	8,55%	16,08%
CR	0,09	0,08	0,07	0,03	0,09	0,07	0,09	-

Fonte: elaborada pela autora

A Tabela 9 apresenta os vetores de priorização globais. Nesse caso, pode ser observado que o subcritério Eficiência operacional 2.0 (SC<sub>1</sub>), com 19,41%, foi considerado como o mais importante. Santos (2015) coloca como objetivo da indústria 4.0 chegar na fábrica inteligente com seus pilares na eficiência dos recursos e ergonomia, buscando pela adaptação em processos e criação de valor. Lasi e Kemper (2014) explicam que a nova eficiência operacional criada pelos rearranjos da indústria 4.0 são os diferenciais que beneficiaram as organizações. Schilick *et al.* (2012) discute que todos os processos são coordenados, visando aumentar a eficiência de produção e assim, atingir a qualidade e desenvolvimento. Para alcançar os patamares avançados de integração tecnológica baseada em *software*, as organizações precisam adequar sua eficiência operacional para os novos moldes exigidos pela indústria 4.0.

Tabela 9. Matriz de decisão considerando todos os subcritérios - peso global

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	AIP
(SC <sub>1</sub> )	44,71%	2,25%	29,17%	4,08%	8,72%	6,66%	40,27%	19,41%
(SC <sub>2</sub> )	6,38%	15,78%	5,84%	0,58%	52,31%	20,02%	8,05%	15,57%
(SC <sub>3</sub> )	8,10%	18,03%	23,74%	14,09%	0,61%	5,44%	16,03%	12,29%
(SC <sub>4</sub> )	8,10%	18,03%	4,75%	14,09%	4,88%	2,72%	3,21%	7,97%
(SC <sub>5</sub> )	5,10%	2,18%	11,54%	10,79%	6,15%	3,65%	7,42%	6,69%
(SC <sub>6</sub> )	5,10%	8,69%	11,54%	10,79%	3,87%	3,65%	4,67%	6,90%
(SC <sub>7</sub> )	5,10%	8,69%	2,31%	10,79%	0,81%	0,73%	1,96%	4,34%
(SC <sub>8</sub> )	3,36%	2,77%	4,56%	5,23%	1,93%	3,75%	5,37%	3,85%
(SC <sub>9</sub> )	3,36%	2,77%	1,24%	5,23%	1,93%	3,75%	3,38%	3,09%
(SC <sub>10</sub> )	3,36%	2,77%	0,84%	5,23%	9,64%	3,75%	1,07%	3,81%
(SC <sub>11</sub> )	5,47%	9,02%	3,91%	9,55%	7,32%	22,94%	7,13%	9,33%
(SC <sub>12</sub> )	1,86%	9,02%	0,56%	9,55%	1,83%	22,94%	1,44%	6,75%
CR	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	-

Fonte: elaborada pela autora

### 4.3.2. Síntese dos resultados

A partir dos valores de comparação obtidos, foi elaborada a síntese dos resultados emitidos pelos sete especialistas. Os dados apresentados permitem que todos os fatores julgados sejam priorizados de acordo com o índice de importância que apresentam em relação ao objetivo determinado. A agregação dos julgamentos dos critérios e subcritérios permitiu a obtenção do peso local e global de cada um deles (Tabela 10). O peso local se refere ao peso dos fatores dentro do critério ao qual pertence. O peso global considera o peso do fator com relação a todos os fatores existentes.

Tabela 10 - Resultado geral da avaliação dos especialistas

Nível	Critérios	Peso Local	Ranking	Peso Global	Ranking
<b>Critério</b>	<b>Análise de oportunidade</b>	<b>34,98%</b>		<b>34,98%</b>	
<b>Subcritério</b>	Eficiência operacional 2.0	57,95%	1	19,41%	1
	Otimização do modelo de negócios	42,05%	2	15,57%	2
<b>Critério</b>	<b>Tecnologia da informação</b>	<b>20,26%</b>		<b>20,26%</b>	
<b>Subcritério</b>	Integração de TI	56,51%	1	12,29%	3
	Gerenciamento de segurança de TI	43,49%	2	7,97%	5
<b>Critério</b>	<b>Novas interfaces e dados</b>	<b>17,93%</b>		<b>17,93%</b>	
<b>Subcritério</b>	Novo gerenciamento de PI	39,29%	2	6,69%	8
	Análise e gerenciamento de dados	41,97%	1	6,90%	6
	Aplicações baseadas em nuvem	18,74%	3	4,34%	9
<b>Critério</b>	<b>Gestão integrada e inteligente</b>	<b>10,75%</b>		<b>10,75%</b>	
<b>Subcritério</b>	Cadeia de suprimentos inteligente	39,04%	1	3,85%	10
	Logística inteligente	30,33%	3	3,09%	12
	Gerenciamento do ciclo de vida	30,63%	2	3,81%	11
<b>Critério</b>	<b>Mudança e aprendizagem</b>	<b>16,08 %</b>		<b>16,08%</b>	
<b>Subcritério</b>	Negócio corporativo	70,33%	1	9,33%	4
	Aprendizagem organizacional	29,67%	2	6,75%	7

Fonte: elaborada pela autora

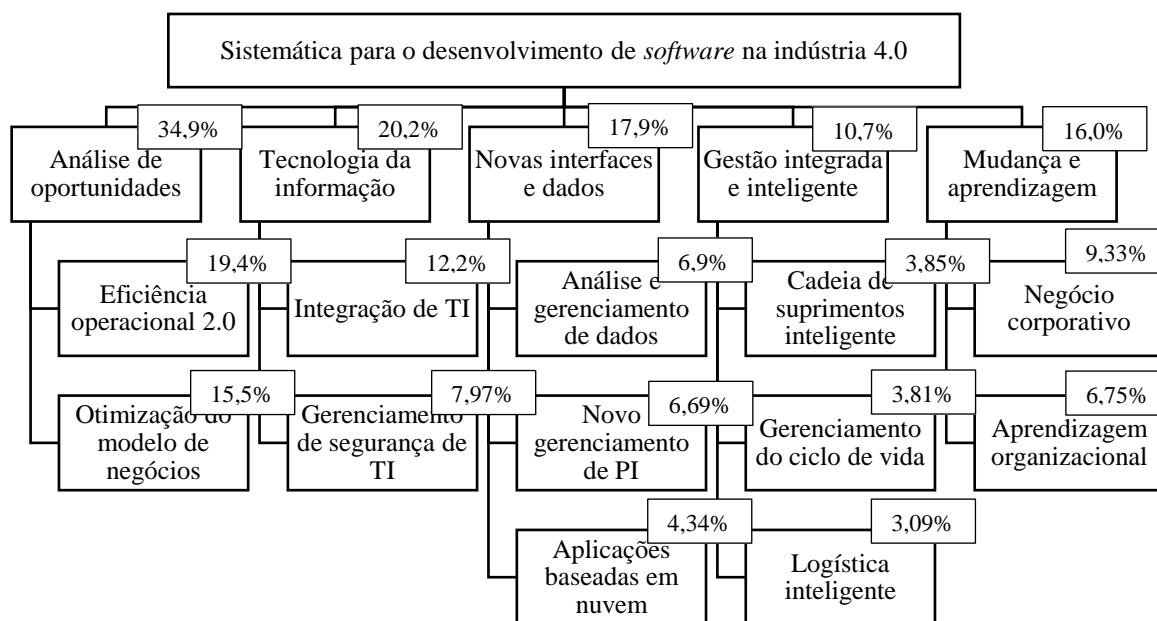
Ressaltando tratar-se de uma amostra intencional que visou a obter dados mais próximos da realidade dos requisitos do desenvolvimento de *software* na indústria 4.0, destacam-se dos resultados os subcritérios de maior peso:

- Com relação ao critério Análise de oportunidade (C<sub>1</sub>), obteve-se como principal subcritério a Eficiência operacional 2.0 (SC<sub>1</sub>) com 57,95%. Esse resultado foi o mesmo obtido considerando a matriz de decisão com todos os subcritérios (peso global). Segundo Rauch *et al.* (2018), a transformação digital para o setor 4.0 oferece novas oportunidades para impulsionar a eficiência operacional que cria vantagens competitivas de longo prazo, tanto em confiabilidade quanto em preço.
- Com relação ao critério Tecnologia da informação (C<sub>2</sub>) o subcritério Integração de TI (SC<sub>3</sub>) apresentou maior peso (56,51%). Segundo Openshaw *et al.* (2014), soluções novas e combinadas precisam ser desenvolvidas a partir de uma variedade de componentes, sensores, módulos e sistemas, incorrendo no desenvolvimento de *software* integrado.
- Para o critério Novas interfaces e dados (C<sub>3</sub>), o subcritério de maior peso foi Análise e gerenciamento de dados (SC<sub>6</sub>) com 41,97%. Ele se mostra importante posto que a indústria 4.0 trabalha com grandes e densas quantidades de dados. Quando esses dados são reunidos, analisados e processados de forma eficiente, eles geram resultados e apoiam a tomada de decisão (WANG *et al.*, 2017).
- Com relação ao critério Gestão integrada e inteligente (C<sub>4</sub>), destacou-se o subcritério Cadeia de suprimentos inteligente (SC<sub>8</sub>) com 39,04%. A transformação digital coloca novas demandas na cadeia de suprimentos, esta deve se tornar mais inteligente, eficiente e transparente em todas suas etapas, pois só assim atingirá a todas as necessidades dos fornecedores e clientes (ZHOU *et al.*, 2017).
- E, com relação ao critério Mudança e aprendizagem (C<sub>5</sub>), o subcritério de maior peso é Negócio corporativo (SC<sub>11</sub>) com 70,33%. Esse resultado mostra que o empreendimento corporativo vem sendo discutido nas organizações como algo positivo. Visto que eles garantem às empresas oportunidades para investir em novas tendências em um estágio inicial e para se beneficiar de inovações disruptivas e tecnologias exponenciais, como nas parcerias com *startups* (VILA *et al.*, 2017).

As demais comparações por parte dos especialistas para priorização dos critérios e dos subcritérios estão no Apêndice D.

Após a realização dos julgamentos, foi possível estabelecer uma nova estrutura para os requisitos gerais (Figura 11), assim como delinear a existência da relação entre eles considerando o peso global. Tem-se, a sistemática ajustada.

Figura 11. Priorização de cada nó da sistemática ajustada



Fonte: elaborada pela autora

A configuração da sistemática se justifica pela concisa quantidade de critérios e subcritérios e posto que foram feitas análises anteriores pelos especialistas. Dentro de cada critério ocorre a comparação de dois ou três subcritérios, não permitindo variações altas ou inconsistências.

A ordem dos critérios não se alteraram, visto a coerência dos pesos que coincidem com as etapas propostas. Sendo elas: começar as discussões norteadas pela sistemática primeiro pela etapa de preparação (análise de oportunidade), passando pelos *workshops* (tecnologia da informação, novas interfaces e dados e gestão integrada e inteligente) e por fim, a execução (mudança e aprendizagem). Enfatizou-se a importância da fase de preparação, pelo critério análise de oportunidade, posto que sem essa etapa inicial as outras etapas não atingiriam seus objetivos.

A etapa de mudança e aprendizagem foi considerada mais importante que a gestão integrada e inteligente. Porém, como foi identificada na teoria que a mudança e aprendizagem deve ocorrer no final do processo e como os pesos não se distanciam substancialmente, manteve-se a ordem dos critérios.

A priorização dos subcritérios passou por mudanças, sendo elas a troca da ordem desses subcritérios devido a seus pesos. Pode se observar essas mudanças dentro dos critérios novas interfaces e dados e gestão integrada e inteligente. Porém evidencia pouca diferença entre os valores numéricos.

Por fim, levando em conta o objetivo do AHP e ressaltando se tratar de apenas uma sugestão de ordenação, foi realizada a análise de sensibilidade. A importância da análise de sensibilidade reside em uma melhor compreensão das variáveis que compõem o modelo de decisão. Realizou-se a análise do desempenho dos subcritérios em relação aos critérios, considerando os critérios análise de oportunidade, tecnologia da informação, novas interfaces e dados, gestão integrada e inteligente e mudança e aprendizagem, conforme pode ser observado por meio da Figura 12.

Figura 12. Análises de sensibilidade (continua)

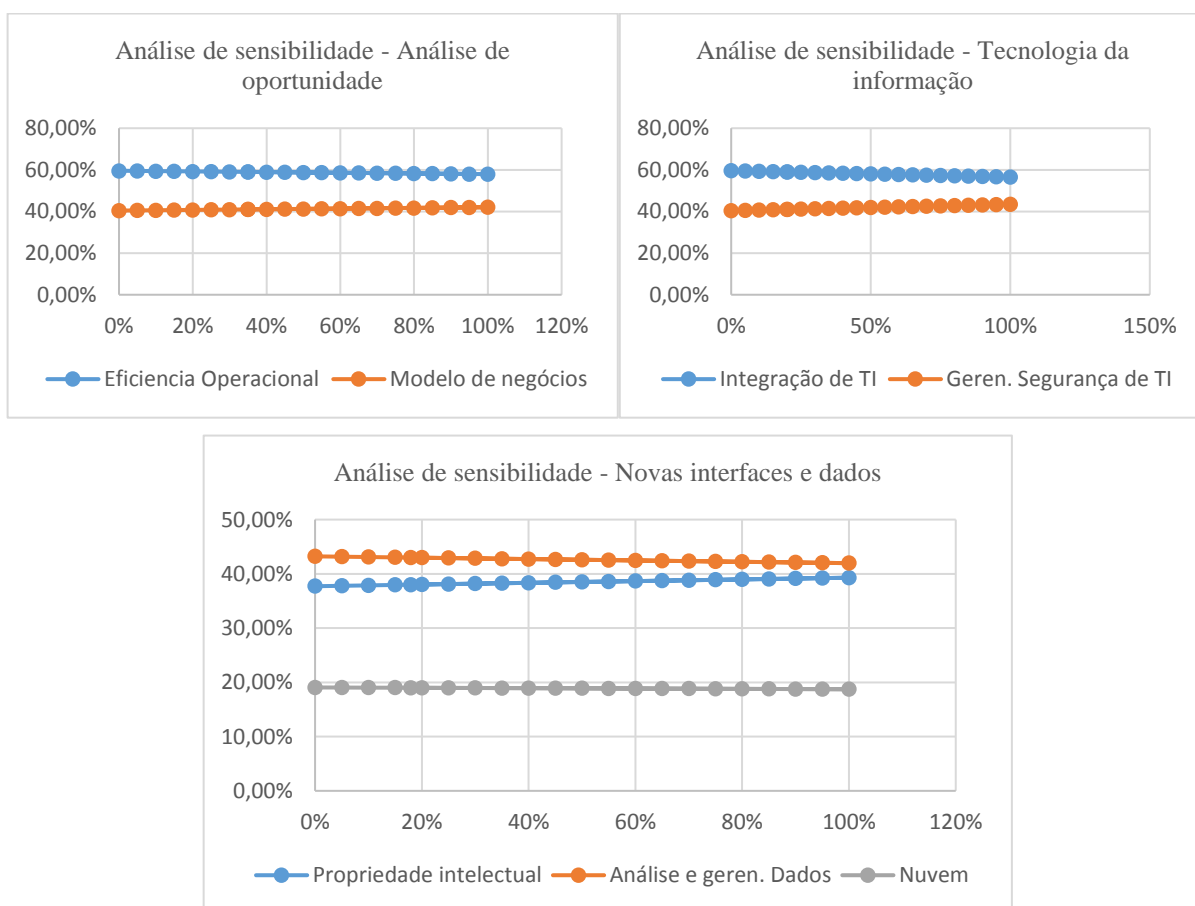
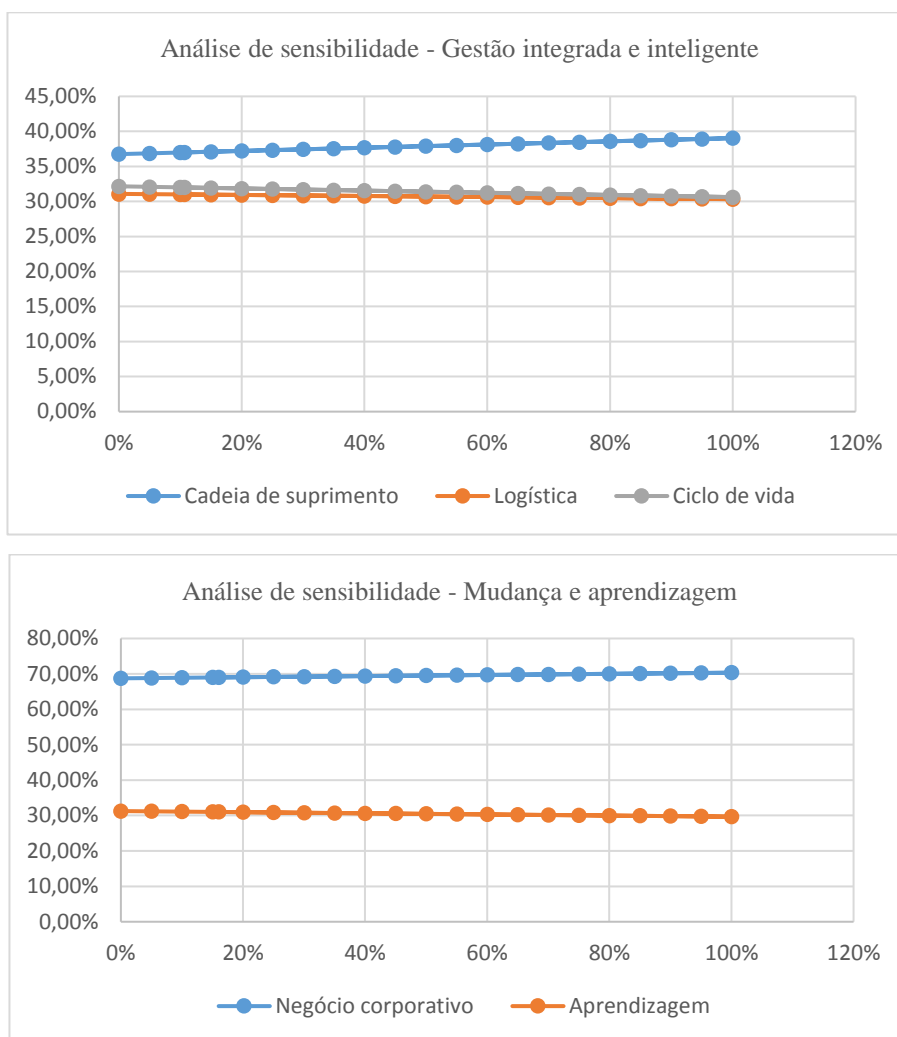


Figura 12- Análises de sensibilidade (conclusão)



Fonte: elaborado pela autora

A análise de sensibilidade tem por objetivo avaliar até que ponto se pode flexibilizar o peso de um determinado critério possibilitando a ocorrência de inversão dos subcritérios. No caso do estudo pode se perceber que é pouco provável um cenário em que ocorra mudança na ordenação ou uma inversão dos subcritérios. Assim, o resultado pode ser considerado estável. As conclusões são respaldadas por não terem ocorrido grandes variações no modelo de decisão (nenhuma variável foi excluída) e não houve resistência dos valores das alternativas e dos cenários (não houve elaboração de alternativas).

No próximo capítulo serão discutidas as análises de especialistas das empresas, sendo mais uma etapa de adequação da sistemática.

## 5. ANÁLISE DE ESPECIALISTAS DAS EMPRESAS

A verificação da adequação da sistemática foi realizada nas empresas onde os especialistas que priorizaram por meio do AHP realizaram as comparações, porém o trabalho contou também com outras empresas que ajudaram com outras informações específicas. Esta atividade se faz necessária para analisar o quanto a sistemática ajustada se adéqua ao ambiente empresarial de desenvolvimento de *software* no contexto da indústria 4.0, permitindo uma oportunidade de ajustar e refinar os requisitos gerais.

Para a realização da adequação utilizou-se o Apêndice E como roteiro de entrevista, contendo os requisitos gerais do desenvolvimento de *software* na indústria 4.0. Ele auxilia na avaliação da adequação da sistemática a fim de evidenciar que as atividades da sistemática ajustada são realmente desenvolvidas pelas empresas. Após essa etapa, ela passará para sistemática final, atingindo o objetivo geral da pesquisa. O roteiro passou por revisão com especialistas em metodologia de pesquisa, sendo assim validado.

Para atender ao objetivo específico de analisar como os requisitos gerais do desenvolvimento de *software* na indústria 4.0 são utilizados nas empresas, foram realizadas entrevistas com os responsáveis pela gestão de tecnologia ou desenvolvimento de *software* de diversas empresas que utilizam das premissas da indústria 4.0. Também foram consideradas empresas que implementam soluções em indústria 4.0. A análise foi realizada em seis empresas. Porém, outras cinco empresas concordaram em passar algumas informações sobre o desenvolvimento do setor 4.0, visto que ele se liga à propriedade industrial da organização, e dessa maneira, não poderiam responder todas as perguntas. Outros especialistas responderam parcialmente as perguntas pois têm suas áreas de concentração em apenas um requisito.

Os critérios de seleção dos especialistas são: experiência em desenvolvimento de *software* na indústria 4.0, experiência industrial em áreas tecnológicas, atuação em empresas de grande porte.

O Quadro 20 mostra as características dos especialistas e de suas respectivas empresas.



Quadro 20. Características dos especialistas das empresas

Especialista/empresa	Características do especialista	Características da empresa
1	Nível direção, 3 anos de experiência em desenvolvimento de <i>software</i> no contexto da indústria 4.0. Nível alto de aplicação em suas atividades profissionais com os conceitos da indústria 4.0.	Empresa do setor automotivo. Líder mundial em bombas e sistemas de lavagem e líder europeia no mercado de sensores de temperatura. Atinge mais de 14 países e possui mais de 3000 funcionários.
2	Nível técnico, mais de 7 anos de experiência em desenvolvimento de <i>software</i> no contexto da indústria 4.0. Nível muito alto de aplicação em suas atividades profissionais com os conceitos da indústria 4.0.	Empresa do setor de manufatura de eletroeletrônicos. Atua em mais de 200 países com foco nas áreas de eletrificação, automação e digitalização. Líder no fornecimento de soluções eficientes de geração e de transmissão de energia, pioneira em soluções de infraestrutura, automação, <i>drives</i> e <i>software</i> para a indústria.
3	Nível gerencial, mais de 7 anos de experiência em desenvolvimento de <i>software</i> no contexto da indústria 4.0. Nível muito alto de aplicação em suas atividades profissionais com os conceitos da indústria 4.0.	Maior e mais ampla empresa de assistência médica do mundo. Possui 260 empresas em 60 países. Contando com inúmeras marcas de renome nas linhas de cuidados com a pele e cabelo, medicamentos, higiene, saúde da mulher, cuidados tópicos e cuidados com o bebê
4	Nível técnico/supervisor, 4 anos de experiência em desenvolvimento de <i>software</i> no contexto da indústria 4.0. Nível médio de aplicação em suas atividades profissionais com os conceitos da indústria 4.0.	Empresa especializada em Validação de Sistemas Computadorizados e Qualificação de Equipamentos e Utilidades, com foco de atuação no setor de <i>Life Sciences</i> , que reúne empresas farmacêuticas, farmoquímicas, de produtos médicos, de higiene pessoal, perfumes, cosméticos, veterinária.
5	Nível gerencial, 1 ano de experiência em desenvolvimento de <i>software</i> no contexto da indústria 4.0. Nível alto de aplicação em suas atividades profissionais com os conceitos da indústria 4.0.	Desenvolve aplicação de soluções avançadas de digitalização para a melhoria de desempenho dos processos produtivos e de manutenção das indústrias da região, nas áreas de Redes 5G e derivadas, Impressão 3D, <i>Blockchain</i> , Geolocalização, <i>Digital Twin</i> , <i>Data Mining</i> , AGV, Drones, <i>Big Data</i> , <i>Machine Learn</i> , entre outras.
6	Nível direção, 3 anos de experiência em desenvolvimento de <i>software</i> no contexto da indústria 4.0. Nível muito alto de aplicação em suas atividades profissionais com os conceitos da indústria 4.0.	Objetiva o treinamento em indústria 4.0 e a implantação de modelos de gestão estratégica para a indústria 4.0.

Fonte: elaborada pela autora

O Quadro 21 mostra as características dos especialistas e de suas respectivas empresas, que contribuíram com informações sobre como a indústria 4.0 atua em suas áreas, porém não responderam todas as perguntas como os especialistas anteriores (Quadro 20).

Quadro 21. Características dos especialistas que contribuíram na análise

Especialista/ empresa	Características do especialista	Características da empresa
7	Trabalhou por 12 anos, ocupando vários cargos no Banco Itaú e Unibanco relacionados à Segurança da Informação e prevenção de fraudes. Engenheiro na EEM. Trabalhou como pesquisador na POLI / USP e como coordenador de pesquisas em em Segurança da Informação.	Dono e responsável pela empresa de segurança de dados, formada por profissionais com mais de 10 anos no mercado de segurança da informação em âmbito acadêmico, e possui experiência em projetos de segurança da informação com empresas de pequeno, médio e grande porte.
8	Engenheiro Eletricista (UNIFEI). Conhecimento de operações e transmissões. Projetos em análise da qualidade da energia elétrica. Experiência em gestão tecnológica.	Está entre as maiores distribuidoras de energia elétrica do Brasil, atendendo a 228 cidades, totalizando mais de 6 milhões de pessoas que recebem essa energia todos os dias. São controlados indiretamente pela Iberdrola S.A., com sede na Espanha, um grupo que está entre as maiores companhias elétricas no mundo e é líder mundial em energia eólica.
9	Engenheiro de Controle e Automação (UNIFEI) com pesquisa em Inteligência Artificial aplicada a robótica. Mestre em Engenharia aeronáutica pelo ITA. Trabalho na indústria aeronáutica e aeroespacial. Experiência em desenvolvimento de <i>software</i>	Uma das maiores companhias de fabricação de jatos comerciais do mundo e líder absoluta no segmento de até 130 assentos. Possuem unidades industriais, escritórios e centros de distribuição de peças e serviços nas Américas, África, Ásia e Europa. Entrou em um acordo de Joint venture com a Boeing.
10	Engenheiro de Produção (UNIFEI) Experiência na análise de qualidades de produtos e supervisor de embalagens em linha de produção. Experiência em gestão tecnológica	Nascida da união das centenárias Cervejaria Brahma e Companhia Antarctica, atualmente é responsável por 100 rótulos, presente em 19 países, 32 cervejarias e 2 maltarias no Brasil, 30 marcas de bebida e 100 centros de distribuição. Faz parte da Anheuser-Busch Inbev.
11	Administrador (UFLA) com experiência em auditoria. Senior Associate na PwC Brasil. Atualmente associado a empresas da área da educação. Experiência em gestão tecnológica	Importante rede internacional de instituições de ensino superior que auxilia na formação de indivíduos para a conquista de diplomas universitários, com mais de 875 mil alunos matriculados em cerca de 25 instituições, em aproximadamente 150 campi e programas online.

Fonte: elaborada pela autora

Durante a pesquisa e a busca pelas empresas que utilizam das premissas da indústria 4.0, evidenciou-se a dificuldade em lidarem com as exigências da nova industrialização. Assim, optou-se por analisar como a indústria 4.0 atinge diferentes segmentos e como esses se adequam as mudanças. A pesquisa não atingiu o campo das *startups* ou empresas incubadas, vista a industrialização inicial ou em processo desse segmento de empresas. Quanto ao porte, as empresas variam entre médio e grande porte, considerando número de funcionários e capacidade de produção; não foram analisadas as microempresas. As empresas selecionadas por realizarem atividades de desenvolvimento de *software* no contexto da indústria 4.0 possuem sua matriz ou escritório principal na região sudeste do país. Algumas possuem também unidades em toda região federativa e em outros países. As entrevistas ocorreram entre abril e agosto de 2019.

## 5.1. RESPOSTAS DOS ESPECIALISTAS E AVALIAÇÃO DA EMPRESA

De acordo com as respostas de cada especialista temos:

A empresa 1 utiliza da eficiência operacional 2.0 e a otimização do modelo de negócios, como nos investimentos em treinamento e capacitação para revisão do modelo de negócios localmente. Utiliza-se a integração de TI e o gerenciamento de segurança de TI, sendo este último justificado por investimento realizados na área. Sobre o requisito novas interfaces e dados apenas se utiliza da análise e gerenciamento de dados, sem justificativas. Não se utiliza de nenhum requisito de gestão integrada e inteligente, sendo explicado por não ter ainda iniciativas de aplicação de conceitos da indústria 4.0 na logística da planta. Não se utiliza de negócio corporativo pois estão iniciando contatos e entendimento das oportunidades. Também não se utiliza de aprendizagem organizacional, a justificativa está em acreditarem no conceito, porém não é ainda sistematizado dentro da organização.

A empresa 2 utiliza de todos os requisitos, com exceção da cadeia de suprimentos inteligente. Porém, devido à proteção dos dados que são considerados estratégicos pela empresa, não pode-se ter acesso à explicação de como e nem porquê da utilização ou não desses requisitos.

A empresa 3 utiliza da análise de oportunidade por meio da análise de viabilidade e *business case* de cada projeto. Referente à eficiência operacional 2.0 se tem o sistema Toyota de produção e sobre otimização do modelo de negócios cita-se a modificação do modelo de negócios e redução de seis para três pilares. Quanto à tecnologia da informação, justifica-se a utilização, pois é considerada a base que suporta o modelo de negócios. A integração de TI é encontrada no Sistema *Manufacturing Execution Systems*; já o gerenciamento de segurança de TI na implementação de ICE (*Isolated Computer Environment*, *USB Hardening*, Sistema de Acesso Remoto, *Firewalls*, etc.). Quanto às novas interfaces e dados, tem-se o sistema OSI-PI, sobre novo gerenciamento de PI o *SCADA Systems connected to Level 3 and 4*. Não se utiliza análise e gerenciamento de dados e nem aplicações baseadas em nuvem, a justificativa é que ambas estão em estudo. A gestão integrada e inteligente é encontrada por meio da demanda puxada, porém ainda em progresso. A utilização de cadeia de suprimentos inteligente e logística inteligente vem da integração entre sistemas de *Make* e *Logistics*. Já o gerenciamento de ciclo de vida deriva do uso de sistemas tipo Máximo para manutenção e TLM - *Technology Lifecycle Management* para TI e automação. O requisito de negócio corporativo é exercido por meio da integração corporativa, e a aprendizagem organizacional por meio da Universidade Corporativa e integração com universidades e entidades de pesquisas.

A empresa 4 utiliza da análise de oportunidades por meio do desenvolvimento de sistema proprietário a fim de atender esta necessidade. Quanto à eficiência operacional 2.0, o sistema desenvolvido internamente foi idealizado pensando em como os processos e atividades poderiam ser mais eficientes, além de ter como um dos focos atender as empresas da indústria 4.0. Referente à otimização do modelo de negócios, tem-se o desenvolvimento de uma solução 100% automatizada para substituir processos e atividades manuais que pode ser utilizado, por exemplo, por empresas que precisam atender exigências regulatórias. A tecnologia da informação é utilizada em sistemas para atender as exigências regulatórias das indústrias de ciências da vida. O sistema não realiza nenhum tipo de integração de TI e nem gerenciamento de segurança de TI. O requisito de novas interfaces e dados é visto como o pilar dos sistemas desenvolvidos pela empresa para soluções em indústria 4.0. Não é realizado análise e gerenciamento de dados, porém o trabalho é realizado 100% em nuvem. Todo o requisito de gestão integrada e inteligente não é realizado, pois não se aplica a empresa. Quanto à mudança e aprendizagem a empresa não só utiliza como vem tentando se colocar como um local de aprendizado constante e incentiva tal comportamento em seus funcionários. A aprendizagem organizacional é promovida em ambientes em que os profissionais são submetidos a treinamentos para desenvolver suas capacidades técnicas. Não há esforços no sentido do negócio corporativo.

A empresa 5 não utiliza da análise de oportunidade e nem de tecnologia da informação, porém, é um investimento que eles consideram para o futuro. Sobre novas interfaces e dados, eles utilizam de análise e gerenciamento de dados e aplicações baseadas em nuvens, por meio de uma planta piloto de etanol para aplicação e desenvolvimento de novas tecnologias. Não se utiliza de gestão integrada e inteligente. Ainda não investiram em negócio corporativo, mas é um pensamento futuro. A aprendizagem organizacional é exercida por meio do treinamento constante dos colaboradores.

A empresa 6 utiliza como análise de oportunidade o planejamento estratégico de TI. Como eficiência operacional 2.0, os sistemas de gerenciamento de produção e como otimização do modelo de negócios, o CRM. O requisito tecnologia da informação é utilizado no ERP. A integração de TI é visualizada no PDM Siemens e o gerenciamento de segurança de TI no sistema de segurança de dados. A análise e gerenciamento de dados é utilizada por meio do BAM e as aplicações baseadas em nuvens não são usados por causa da segurança/cultura de dados. A gestão integrada e inteligente não é utilizada pela falta de integração horizontal e vertical. A cadeia de suprimentos inteligente não é encontrada, pois existe falta de sincronização, assim como também não ocorre logística inteligente pela falta de integração

horizontal. O gerenciamento de ciclo de vida também é orientado pelo PDM Siemens. O requisito de mudança e aprendizagem é orientado pelo modelo de gerenciamento de negócios, sendo o negócio corporativo pela gestão de processos e a aprendizagem organizacional pela universidade corporativa.

Com as observações feitas em relação aos requisitos, pode-se verificar que todas as organizações pesquisadas preocupam-se com a análise de oportunidade, cada uma de acordo com seus objetivos estratégicos, implementam formas de aproveitar essas oportunidades. Mesmo as que não as utilizam, entendem a sua importância. Esta análise vai de acordo com as conclusões encontradas na fase de modelagem.

Os requisitos de TI e novas interfaces e dados também têm um bom entendimento junto com as empresas, apesar de algumas dificuldades de implementação e integração (PENAS *et al.*, 2017). O gerenciamento de dados e a segurança dos dados concentram a atenção de grande parte dos especialistas, evidenciando a importância dos controle e abrangência dos *software* e sistemas (MINEO *et al.*, 2016).

A fase final de mudança e aprendizagem, ainda que discreta, também foi colocada como um tópico importante, porém, ainda não muito implementada nas indústrias. As grandes empresas já possuem pesquisas em colaboração com as universidades e mostram interesse em crescer as parcerias, já as de menor porte a colocam como um pensamento futuro. A aprendizagem organizacional também é um conceito entendível para as empresas (VILA *et al.*, 2017; TELLES; VIANNA; LE ROUX, 2018).

Por fim, o requisito de gestão integrada e inteligente ainda é o menos utilizado e pouco implementado nas indústrias, com exceção das grandes organizações. A discussão se liga às dificuldades que a área da logística impõe, além de estar relacionada a muitas organizações não a utilizarem por serem focadas em serviços (GIORGIO *et al.*, 2017). Justificando o resultado desse requisito na análise de especialistas e no AHP.

Pode-se analisar que cada empresa utiliza seus sistema e *software* de acordo com suas metas estratégicas e os aplica de formas diferentes de acordo com a estrutura organizacional seguida. Esse trabalho não busca identificar o tipo de *software* e nem analisar sua eficiência, posto que cada empresa precisa de sistemas únicos para atender suas demandas. Quanto as justificativas da não utilização dos requisitos, foram citados a não adequação aos interesses da empresa, falta de iniciativas de aplicação, falta de sistematização e integração, etapas em estudo e pensamentos futuros. Baseados nas diferentes características das empresas, foi preciso analisar mais informações por meio dos especialistas que contribuíram com dados sobre a indústria 4.0 e *software* em suas áreas, sendo eles:

O especialista 7 comentou que sua visão sobre a indústria 4.0 está relacionada à aplicação de tecnologias e boas práticas relacionadas à segurança da informação. Sua empresa é contatada por outras empresas que tem receios relacionados às questões em segurança sobre seus ativos, ou porque a empresa foi vítima de algum incidente em segurança. Em sua visão, quando se trata do cenário da indústria 4.0 muitas empresas ainda não tem a certeza sobre seus conceitos ou mesmo sua aplicação visando os benefícios atrelados aos processos produtivos, redução de custos e demais outros aspectos essenciais deste tema. Ele ainda comentou sobre a importância do conhecimento e aplicações das regras que regem o TI sumarizadas no *Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security* (NIST *Special Publication*, 2015), sendo um documento que fornece orientações sobre como proteger *Industrial Control Systems (ICS)*, incluindo *Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) systems*, *Distributed Control Systems (DCS)* e outras configurações do sistema de controle, como *Programmable Logic Controllers (PLC)*, enquanto aborda seus requisitos exclusivos de desempenho, confiabilidade e segurança. O documento fornece uma visão geral do ICS e topologias típicas do sistema, identifica ameaças e vulnerabilidades típicas a esses sistemas e fornece contramedidas de segurança recomendadas para mitigar os riscos associados. Também foi comentado sobre a importância do pleno entendimento da *cybersegurança* por meio da agência referência, a *Cybersecurity and Infrastructure Security Agency (CISA)*, que é uma consultora de risco dos Estados Unidos da América. A CISA fornece amplo conhecimento e práticas de segurança cibernética e segurança de infraestrutura para seus *stakeholders*, compartilhando esse conhecimento para permitir melhor gerenciamento de riscos e o colocando em prática para proteger os recursos essenciais da nação.

O especialista 8 comenta sobre a indústria 4.0 no setor elétrico. Este considera o setor de energia conservador perto dos outros setores, visto que se trabalham ainda com inovações pontuais por causa de restrições, legislação, entre outras dificuldades. Na empresa, a área que trabalha com conceitos tecnológicos de *software* é a área de proteção, porém, não se pode obter informações a respeito.

O especialista 9 comenta sobre o setor aeronáutico e aeroespacial como um setor altamente inovador e proativo, porém, questiona o enfoque da indústria 4.0 muito mais no produto que na manufatura. A justificativa, talvez seja, pelo fato da empresa trabalhar com alcance de enormes projetos. A logística inteligente, por exemplo, utiliza de muitos conceitos da robótica, desde navegação autônoma até *trajectory planning optimization*, usando inteligência artificial. O especialista enfatiza seu contato com os conceitos da indústria 4.0 no desenvolvimento de produtos, seja ele um robô, um carro ou um avião.

Referente à sua experiência numa empresa internacional de desenvolvimentos de *software*, sua experiência se liga ao projeto e desenvolvimento de aplicações para veículos autônomos da Jaguar Land Rover ADAS. Assim, ele é responsável pelo desenvolvimento de *software* de funcionalidades de percepção na plataforma NDIVIA, por meio de projeto de veículo autônomo de nível 4 como: percepção de câmera, interface Lidar, DNN e GPU. Também desenvolve *software* de integração de recurso de centralização de faixa, desenvolvimento Matlab / Simulink, integração de algoritmos de detecção de linha e controle de direção, verificação e validação em SIL / HIL / PG. Porém, pouco pode-se comentar da gestão da tecnologia em solo estrangeiro.

O especialista 10 comenta que em sua empresa do setor de alimentos e bebidas ainda não se identifica claramente com todos os requisitos da indústria 4.0, com exceção em projetos como os relacionados à performance de equipamentos, no qual se computa o impacto que cada um dos equipamentos da linha tem em eficiência e coleta automática de itens de qualidade. Ele especificou que seu trabalho é restrito a uma planta, a uma das fábricas apenas, não podendo generalizar para toda a extensa cadeia controlada pela empresa.

O especialista 11 trabalha com a área de educação, referente ao ensino superior particular. Ele comenta que não se identifica os princípios da indústria 4.0 referentes à logística. O requisito que pode ser encontrado nas unidades é o armazenamento em nuvem e a *cybersegurança*. Em nova entrevista realizada no período de abril de 2020, o especialista 11 afirmou a posição da empresa em modernizar o ensino por meio da criação de um *software* de inteligência artificial. A utilização de robôs atua como plano de reestruturação do ensino virtual. Sobre essa área, o especialista 2 que respondeu o AHP (Capítulo 4) contribuiu com informações sobre seus projetos em instituição superior particular sobre indústria 4.0, mostrando que a instituição se preocupa com novos negócios e ensino integrado, projetos voltados para integração de TI, *cybersegurança*, análise e gerenciamento de dados e armazenamento em nuvem. Além de considerar a aprendizagem organizacional e o negócio corporativo ligado à missão de que os alunos devem ter novos conhecimentos e aptidões.

Com os resultados pode-se perceber a dificuldade e a complexidade em se trabalhar efetivamente com os requisitos da indústria 4.0, visto que são conceitos diretamente ligados ao *know-how* da empresa e aos dados protegidos pelo setor estratégico (DIEBER *et al.*, 2018). Outro desafio é romper com as estruturas fragmentadas e implementar a integração dos sistemas. Além das dificuldades citadas, há o desafio de implantação de tecnologias, ainda não tão exploradas pelas indústrias brasileiras comparadas com as estrangeiras (SHA; XIAO; CHEN, 2018). Nesse sentido, as nações industrializadas de alta tecnologia são EUA, Alemanha

e Japão que implementaram efetivamente a tecnologia digital para criar novos ambientes industriais, produzir novos produtos e melhorar suas marcas bem estabelecidas (LI, 2018). A China é um exemplo de país que, por meio da sua experiência como economia emergente, vem desenvolvendo seu empreendedorismo tecnológico. Ela busca a implementação de um plano estratégico ambicioso, chamado de ‘Made-in-China 2025’, que apesar de ser comparado ao modelo de indústria 4.0 alemão, possui seus princípios voltados para essa mudança socioeconômica que o país vem passando. Outro exemplo de sucesso chinês é a cidade de Xangai, que já atingiu o projeto de cidade inteligente (LI, 2018).

A pesquisa não considerou *startups*, mas evidenciou-se uma concentração das novas tecnologias em empresas multinacionais ou aquelas que tem seu objetivo ligado à implementação da indústria 4.0 (LONGO; NICOLETTI; PADOVANO, 2017), caracterizando como se dá o processo de modernização industrial no país. Também pode-se avaliar que o pensamento inovador da indústria chega a diversas áreas, mesmo as consideradas conservadoras estão procurando soluções em indústria 4.0 (BAUERDICK *et al.*, 2017) e as mais inovadoras e dispostas aos riscos alcançam um alto desenvolvimento em *software* e tecnologia, como a robótica, inteligência artificial e automação (LOPEZ *et al.*, 2018; LI; SI, 2017; QIN; LIU; GROSVENOR, 2016; LIU *et al.*, 2020).

Faz-se interessante observar como as diferentes empresas, cada uma a seu modo, tem se dedicado a interiorizar políticas de inovação em seus setores, mesmo que de forma discreta. Tecnologias como armazenamento em nuvem se tornaram populares, por exemplo. A segurança de dados e o TI, apesar de serem requisitos comentados como muito importantes, ainda provocam dúvidas e discussões. A logística inteligente ainda não é muito utilizada.

Por fim, podemos entender que o desenvolvimento de *software* na indústria 4.0 se desenvolve nas empresas conforme elas próprias se utilizam das tecnologias inteligentes de forma integrada e eficiente. Porém, a intensidade ou a efetividade desse uso depende da visão e dos objetivos estratégicos da empresa, assim como o modo que a organização aceita os desafios de empreender e interiorizar o pensamento inovador. Isso se evidencia no setor de energia que é menos propenso em inovações. Em contrapartida, o setor automobilístico e aeroespacial tem como uma das exigências o avanço tecnológico em seus produtos como meio de vantagem estratégica (KANNAN *et al.*, 2017). Deste modo, o ambiente em que as empresas se encontram (incentivos e investimentos), assim como questões como desenvolvimento de pesquisas, disponibilidade financeira e ativos e capital humano qualificado, são importantes para o aperfeiçoamento do *software* na indústria 4.0 (LI, 2018). As organizações ainda precisam romper as várias dificuldades relacionadas aos requisitos do desenvolvimento de *software* para



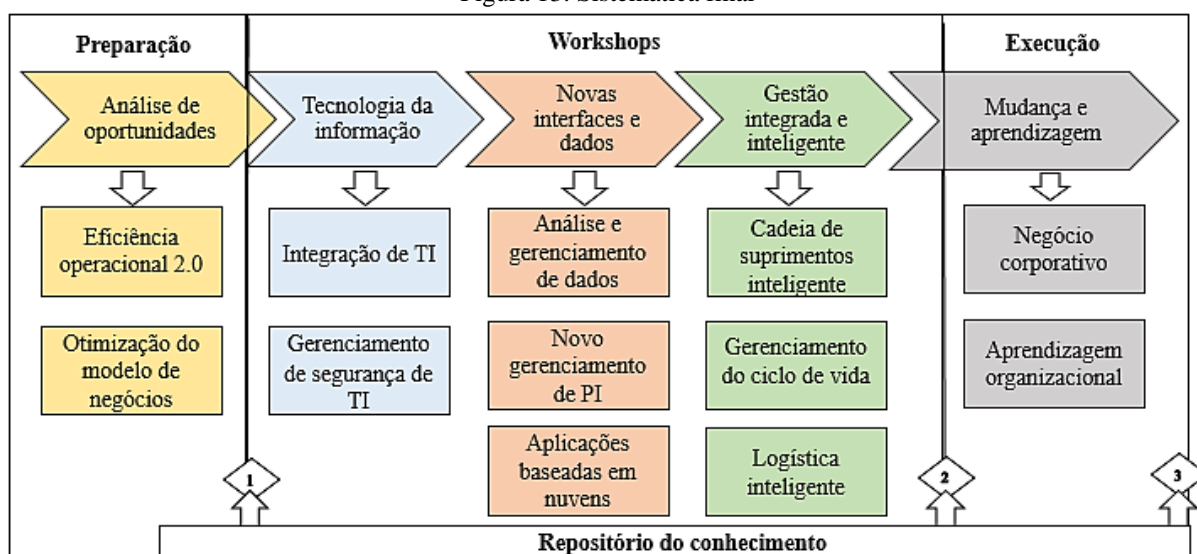
a plena utilização de sua capacidade, por isso a importância da sistemática que visa orientar as ações, entender as etapas tecnológicas, trabalhar os riscos e assim, aumentar a eficiência dos processos. Passando por essas análises, pode-se chegar na sistemática final.

## 5.2. SISTEMÁTICA FINAL E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com as conclusões quantitativas e as considerações dos especialistas em várias fases da pesquisa (qualitativa) se conclui a importância de todas as etapas da sistemática, sendo todas consideradas relevantes para o objetivo final da sistemática que é ser aberta as discussões e de amplo alcance. O único requisito que poderia ser excluído seria a gestão integrada e inteligente, porém, sua exclusão não foi feita porque, quantitativamente falando, apesar de seu valor de importância ser menor que os outros, ele apresentou valores semelhantes aos requisitos considerados mais importantes. Aplicações baseadas em nuvens (novas interfaces e dados) tem quase o mesmo valor comparado com os requisitos de gestão integrada e inteligente. É importante salientar que a sistemática é aberta a mudanças de acordo com cada empresa. Assim, procurou-se manter os requisitos, porém cada organização pode adequá-lo aos seus objetivos.

A implementação da sistemática nas empresas deve ser orientada pelas discussões de cada etapa, analisando seus desdobramentos e os impactos para a organização. As discussões envolvem análises em grupo, *benchmarking*, dinâmicas, mapeamentos de atividades e processos, entre outros. Assim é feito um guia com o detalhamento da sistemática com ênfase em fornecer orientações para implementação nas empresas. O guia se encontra no Apêndice G. Nele também é apresentado as ferramentas e abordagens que podem ser utilizadas para a implementação de cada requisito. A Figura 13 mostra a sistemática final e os resultados encontrados sobre cada requisito e etapa durante a pesquisa.

Figura 13. Sistemática final



Fonte: elaborada pela autora

Assim as etapas da sistemática final são:

### Estágio 1 - Preparação

Etapa onde deverá ser realizada a análise das oportunidades, que é a discussão e a listagem de requisitos em formato da atual situação e o planejamento futuro referentes a:

- Eficiência operacional 2.0;
- Otimização do modelo de negócios.

As análises de eficiência operacional e otimização de modelo de negócio devem ser feitas na fase de planejamento, pois estas determinam a direção das demais fases que compõem a sistemática. Nesta etapa são direcionadas as análises de risco como oportunidade, visando identificar os *gaps* e trabalhar para obter ganho a partir deles.

A etapa de análise das oportunidades, por meio do AHP, foi classificada como a fase de maior peso, ou seja, a fase de maior importância na sistemática. Durante a análise com os especialistas acadêmicos pode-se entender sua relevância para o processo, servindo como um guia para as próximas fases. Na análise com os especialistas de empresas, foi evidenciada sua importância, porém, as empresas ainda têm dificuldades na implementação. A maioria das empresas entende a importância em realizar a análise de oportunidades, porém é colocada ainda como experiência futura.

Dentro dessa fase, o requisito escolhido como mais importante pelo AHP foi a eficiência operacional. Esse subcritério também foi o de maior peso entre todos os subcritérios. Para se

atingir a eficiência operacional a empresa precisa conhecer sua força de trabalho e seus processos. É uma etapa muito importante dentro dos processos organizacionais. A sua interpretação correta proporciona a organização uma gestão de lucros, oferece qualidade e evita desperdícios (KAMBLE; GUNASEKARAN; DHONE, 2020).

A otimização do modelo de negócios é entendida como um requisito importante pelos especialistas acadêmicos e de empresas. É um dos requisitos com maior peso na sistemática, ficando atrás apenas da eficiência operacional. A otimização traz benefícios referentes a: escalabilidade, produtividade, custos, confiabilidade, agilidade, controle e integração (MA *et al.*, 2017).

### **Estágio 2 – Workshops**

Nesta fase são realizados os *workshops*, com objetivo de conectar as ações, sendo o estágio em que se delimita os passos que serão dados e quais os maiores desafios que podem ocorrer. É o momento para a discussão e consolidação das ideias de integração e da gestão efetiva da inovação e das tecnologias alcançadas ou almeçadas. Os requisitos são:

- Tecnologia da informação, no qual serão trabalhados a questão da: integração de TI e gerenciamento de segurança de TI.

Os requisitos gerais ligados à tecnologia da informação demonstram como a organização está envolvida com a tecnologia e como ela pretende modernizar e administrar essas transformações que devem ocorrer na empresa, seja na internet por meio das nuvens, ou da segurança envolvida nas operações de TI.

- Novas interfaces e dados, onde serão discutidos: análise e gerenciamento de dados, novo gerenciamento de propriedade intelectual e aplicações baseadas em nuvem.

Os requisitos gerais de análise e gerenciamento de dados devem ser analisados nesta etapa, na qual a equipe precisa organizar e se preocupar com a quantidade e qualidade dos dados encontrados. Deve ocorrer uma boa administração da extensa base de dados coletada para o entendimento das demais etapas.

- Gestão integrada e inteligente, na qual serão analisados a: cadeia de suprimentos inteligente, gerenciamento do ciclo de vida e logística inteligente.

Todos os requisitos gerais relacionados à gestão integrada e inteligente, são discutidos nessa etapa, pois se direcionam aos fatores de produção. Para se ter um produto ou serviço tecnológico competitivo, deve-se preocupar com seu ciclo de vida, com a logística e todas as

camadas da cadeia de suprimentos, além de saber gerir as novas condições de propriedade intelectual.

A integração de TI foi o terceiro requisito com maior importância, na priorização feita por meio do AHP, foi também um requisito muito comentado pelos especialistas empresa. A integração de TI se mostra uma fase essencial na sistemática, porém ainda existe dificuldades de implementação por meio das empresas, visto que os sistemas ainda são muito fragmentados e complexos (LOPEZ *et al.*, 2018). De forma geral, a integração de TI traz o aperfeiçoamento no processo de troca de informações, diminuição dos ruídos, contribuição multidisciplinar, diminuição do isolamento, rápida resolução de problemas e melhora do clima organizacional (ZORZETTI *et al.* 2020).

O gerenciamento de segurança de TI foi muito comentado pelos especialistas acadêmicos e de empresas. Foi colocada a importância da *cybersegurança* e como ela impacta nas decisões e nos processos organizacionais. A grande quantidade de dados que é gerada pela indústria 4.0 precisa ser bem gerenciada e estar segura, para evitar problemas e erros (SHA; XIAO; CHEN, 2018). Desse modo as empresas ainda apresentam dificuldades em lidar com esse requisito.

O gerenciamento da segurança de TI é um processo importante que traz o benefício do controle na oferta de informações, impedindo o seu uso não autorizado. Essa proteção tem por finalidade proteger o valor das informações que dependem de três fatores: confidencialidade: proteção contra o acesso e uso não autorizados das informações; integridade: informação completa, acurada e precisa; disponibilidade: informação disponível conforme níveis acordados (SARKER *et al.*, 2020).

A análise e gerenciamento de dados é entendida como ferramenta para se atingir o pleno desenvolvimento em indústria 4.0. A enorme quantidade de informações que devem ser processadas para gerarem *insights* e apoiarem a tomada de decisão, precisam ser bem gerenciadas e se apoiarem em dados e processos eficientes (RAS *et al.*, 2017). A pesquisa evidenciou que junto com a *cybersegurança*, esse requisito é relevante e gera preocupação entre os gestores de empresas.

O novo gerenciamento de propriedade intelectual está ligado as empresas que buscam um diferencial competitivo também na proteção da tecnologia e do conhecimento agregado às suas atividades (SILVA *et al.*, 2020). Gerir adequadamente a propriedade intelectual de uma empresa significa cuidar das criações desde o início, pois muitas vezes não se trata de proteger o que já está criado, mas sim de garantir que o que está por vir poderá ser protegido e utilizado (CHESBROUGH, 2012).

As aplicações baseadas em nuvem foram colocadas pelos especialistas acadêmicos e de empresas como um tecnologia que já ultrapassou os limites das empresas, sendo usado em diversos locais e de diversos modos. Porém, ainda gera desconfianças quanto a sua proteção de dados. Entre seus benefícios tem-se: custo, velocidade, escalabilidade, produtividade, desempenho, confiabilidade, segurança, entre outros (SUBRAMANIAN; JEYARAJ, 2018).

Os requisitos de gestão integrada e inteligente foram os de menor peso durante a priorização pelo AHP, entre eles o menos relevante foi a logística inteligente. Justifica-se esse resultado pelos problemas de logística que são encontrados nas empresas e pela maioria delas focarem em serviços. Os benefícios que envolvem a cadeia de suprimentos inteligente são: rastreabilidade, automação, qualidade de produtos e previsibilidade (FRAZZON *et al.*, 2019).

O gerenciamento de ciclo de vida de produto compreende a integração de: pessoas, dados, processos e sistemas de negócio provendo um canal de informações sobre um produto para empresas e seus parceiros (SALEHI, 2020). Entre os benefícios tem-se: qualidade e confiabilidade, custos reduzidos, solicitações de cotação mais precisas, identificação rápida de oportunidades, estrutura para otimização de produtos, redução de desperdício (LIU *et al.*, 2020).

A logística inteligente, mesmo colocada como o requisito de menor relevância, pode gerar benefícios para toda a empresa, entre eles: eficiência nos processos, otimização organizacional, inovação e visibilidade (GUST *et al.*, 2017).

### **Estágio 3 – Execução**

Etapa na qual deve ocorrer a análise da mudança e aprendizagem. É realizado um estágio final na qual serão discutidos e analisados os seguintes requisitos relacionados ao que se obteve em todo o processo:

- Negócio corporativo;
- Aprendizagem organizacional.

Essa fase desenvolve-se como um balanço do que se alcançou e o que precisa ainda ser melhorado e alcançado, sendo um processo contínuo e cíclico, de experiências, melhorias e inovação. Foi uma etapa também considerada importante, porém pouco implementada nas organizações.

Dentro dessa etapa, o negócio corporativo foi o requisito mais relevante. Ele está ligado as atividades de empreendedorismo e alta performance. Nesse cenário que ocorrem as inovações, melhorias e as mudanças previstas pela empresa. A consequência é que a organização se torna mais competitiva no mercado, uma vez que seus processos são

aprimorados de maneira contínua. Os produtos e serviços também recebem melhorias, o que leva à conquista de mais clientes, à satisfação dos consumidores e ao aumento da fidelização (KABUGO et al., 2020). Nessa etapa os especialistas comentaram sobre a importância da associação com *startups* e universidades.

A aprendizagem organizacional mostrou-se para os especialistas das empresas como uma fase importante e quando não executada no momento, deve ser colocada como uma experiência futura. A sistemática utiliza das discussões e das abordagens de aprendizagem organizacional e gestão da mudança, para entender os processos, aplicá-los, desenvolvê-los e aprender com eles. A sistemática deve estar constantemente em revisão, mesmo após o término do processo, para que todas as informações reunidas sejam refletidas nos negócios estratégicos.

As definições, os riscos, as lacunas, os desafios e as vantagens e tendências, dos respectivos requisitos gerais, mantiveram-se depois das mudanças ocorridas na análise dos especialistas acadêmicos. Estas informações são encontradas no Capítulo 3 e devem ser entendidas e discutidas nas etapas da sistemática final para seu bom desempenho.

Desenvolvida a sistemática, algumas análises dos resultados podem ser feitas.

Com a pesquisa pode-se desenvolver a sistemática fundamentada nos requisitos gerais do desenvolvimento de *software* na indústria 4.0. Pode-se avançar nos conhecimentos sobre como as empresas entendem e utilizam das tecnologias e inovações. E assim, mostrar quais as ferramentas e abordagens importantes para o pleno desenvolvimento tecnológico e inovador de cada organização. Identificou-se os requisitos gerais e suas implicações para as empresas que desenvolvem *software*. Foram explicados suas definições, benefícios, riscos e seus desafios. A sistemática final apresentou as especificidades de cada abordagem.

Evidenciou-se a relevância do requisito geral eficiência operacional, assim como a fase de análise de oportunidade. Isso mostra que a fase de preparação, onde são identificados os processos e seus desdobramentos se tornam importante para realização plena das outras etapas. Um pleno desenvolvimento organizacional exige uma visão abrangente e consciente das tecnologias e das oportunidade, além de uma eficiente gestão de riscos. Porém, mostrou-se que as outras fases também merecem destaque, posto que a sistemática atinge diversas áreas e empresas com objetivos, visões e missões próprias e diferentes entre si.

Essa justificativa vai ao encontro da indústria de *software* ser ampla e complexa, atingindo a maioria dos setores produtivos. A questão da *cybersegurança*, por exemplo, foi considerada muito importante no momento atual de gestão e segurança de dados, além dos

requisitos relacionados a integração de TI, visto que os sistemas ainda são fragmentados e de acesso restrito.

Mesmo os requisitos referentes a gestão integrada e inteligente terem sido considerados menos importantes, eles se mostraram relevantes em nichos específicos de empresas. A sistemática assim apresenta como diferencial ser voltada para empresas de grande porte e das mais diferentes áreas de atuação tecnológica, ser desenvolvida com base nos pilares da indústria 4.0 e ser abrangente e ao mesmo tempo flexível. Exigências do atual e modernizado sistema de industrialização.

É importante ainda considerar que a sistemática possui uma sugestão de ordenação dos requisitos e sugestões de ferramentas e abordagens. Essas devem ser analisadas pelas empresas e utilizadas de acordo com seus objetivos estratégicos.

Para o encerramento da tese e para assegurar a qualidade da cientificidade da pesquisa, foram (YIN, 2005; SALGADO, 2011): utilizadas múltiplas fontes de evidências, estabelecido o encadeamento delas, realizada a adequação ao padrão, utilizada a lógica de replicação, utilizado um protocolo de pesquisa e desenvolvido um banco de dados.

## 6. CONCLUSÕES

### 6.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A principal contribuição dessa tese foi uma sistemática para o desenvolvimento de *software* na indústria 4.0, levando em consideração diversos segmentos industriais. A sistemática estabelece estrategicamente requisitos gerais que orientam o desenvolvimento de *software* no contexto da indústria 4.0 e que posteriormente devem atender as normatizações específicas de cada segmento industrial.

Pelo estudo pode-se entender a importância das tecnologias inteligentes que utilizam de *software* para aperfeiçoamento de suas funções, levando a organização ao máximo potencial produtivo. A criação da sistemática voltada para orientação dos profissionais da área com intuito de discussão dos requisitos gerais da indústria 4.0, explora o desenvolvimento industrial de forma integrada e inteligente, considerando diferentes pontos de vistas e aberta a mudanças.

O desenvolvimento de *software* na indústria 4.0 foi caracterizados por meio da revisão de literatura, da modelagem e das análises de especialistas e das empresas do objeto de estudo. Com essas etapas de pesquisa, pode-se encontrar os requisitos gerais, desenvolvê-los de forma estruturada na sistemática, priorizá-los nessa estrutura e verificar sua aplicação nas empresas. Desta forma, o objetivo geral e específico da pesquisa foi atingido. A sistemática final deve ser entendida, não como prescritiva, e sim generalista, buscando manter aberta as organizações para mudanças e adaptações, baseadas nas discussões durante o processo. A pesquisa estabeleceu uma opção de ordenação dos requisitos de forma a ser mais eficiente.

A análise dos requisitos gerais permitiu identificar a importância de cada um deles no desenvolvimento de *software* na indústria 4.0 e como a utilização dessas novas tecnologias são essenciais para o pleno desenvolvimento das organizações de diferentes objetivos e áreas. A indústria 4.0 envolve todos os níveis organizacionais, podendo expandir-se em vários elementos da cadeia produtiva. Apesar de ser um tema atual, ela ainda provoca dúvidas e dificuldades, pois trabalha com estruturas e sistemas complexos e com alto nível de automatização. A pesquisa buscou primeiramente identificar e entender suas lacunas, seus riscos e complexidades, suas vantagens e os desafios para a indústria, para assim, conseguir de forma quali-quantitativa comprovar a efetividade da sistemática, passando por diversas etapas e adequações.



A pesquisa identificou e organizou os estudos das diferentes e mais atualizadas vertentes do desenvolvimento de *software* no contexto da indústria 4.0 em integração a outras importantes abordagens relacionadas à nova forma de gestão das inovações e estratégias. Uma contribuição do trabalho foi planificar o conhecimento científico sobre a indústria 4.0. Isto permitiu identificar os requisitos gerais e desenvolver uma sistemática adequada à nova indústria. Esse trabalho foi capaz de atualizar os estudos anteriores, trazendo conhecimento sobre novas e diferentes abordagens.

A priorização dos requisitos por meio do AHP e as entrevistas e análise de empresas no setor automotivo, aeroespacial, alimentos e bebidas, elétrico, educacional, consultoria, saúde e higiene, sistemas e comunicação, entre outros, possibilitou a construção de uma sistemática mais próxima da realidade das empresas, visando a dinamicidade e adaptabilidade a diversas situações, posto que a indústria 4.0 exige essas características de todas as etapas que a compõe. Assim, a pesquisa não ficou limitada à visão do pesquisador, a apenas uma análise ou poucos pontos de vistas, permitindo uma sistemática que se adeque aos desafios que as mudanças tecnológicas estão trazendo para as organizações.

As etapas da sistemática e seus desdobramentos apresentaram valores próximos entre si, em relação a sua priorização. Mostrando que todas as etapas são importantes e funcionam de forma cíclica. A etapa de preparação se destacou com sua relevância, posto que sem ela as outras fases da sistemática podem não ser bem entendidas e trabalhadas. Nos *workshops* o destaque está nas observações sobre tecnologia da informação, essa conclusão reforça como as ferramentas de tecnologia e comunicação são essenciais quando se trata de sistemas e *software* integrados. A última fase de execução por meio da aprendizagem e mudança organizacional também mostrou-se relevante, indicando como as empresas trabalham com conceitos de difícil execução e que exigem dedicação da equipe tática e estratégica.

A pesquisa ainda mostrou a importância da análise de oportunidades nas organizações, assim como a preocupação com a eficiência operacional. Evidenciando, que essa preparação da sistemática é a fase que merece mais atenção. Mostrou-se também as ações que as empresas utilizam para pôr em prática os requisitos tecnológicos que lhe são mais apropriados, assim como aqueles em que se tem interesse futuro; deste modo, pode-se chegar no objetivo principal da sistemática. Evidenciou-se o uso das plataformas e sistemas complexos de análise e gerenciamento de dados, as novas tecnologias de segurança de dados e como ocorre o armazenamento da grande quantidade de informação que a empresa trabalha todos os dias. Porém percebeu-se os *gaps* que existem na implantação de várias tecnologias, principalmente os relacionadas à logística inteligente.

O estudo trouxe impactos para a gestão tecnológica e estratégica das empresas que desenvolvem *software* no contexto da indústria 4.0. Desenvolveu uma sistematização dos requisitos gerais de modo a agregar conhecimentos sobre a gestão integrada e inteligente de sistemas. A pesquisa ainda expôs os problemas e desafios da nova industrialização, desenvolveu os riscos, as tendências e os *gaps*. Pela sistemática pode se fazer a ligação entre a teoria e a prática sobre as ferramentas e abordagens do desenvolvimento de *software* na indústria 4.0, trazendo assim uma nova forma de entender e utilizar a indústria 4.0, de forma científica e eficiente, evitando perdas no processo.

Apesar da tese não ter trabalhado com os temas da engenharia de *software*, os requisitos gerais são termos entendíveis pelos desenvolvedores e pela indústria de *software*. Desta forma, tem-se a sistemática voltada para a etapa de pré desenvolvimento, relacionada a gestão estratégica. O trabalho preocupou-se em desenvolver um guia que fosse coerente com o dia a dia das empresas de manufatura, de modo que essas empresa poderão entender e utilizar das potencialidades dos requisitos em suas atividades tecnológicas.

É necessário apontar as limitações da pesquisa. A tentativa de manter a sistemática efetiva no maior número de situações possíveis demandou um grande esforço, tanto para obter os dados quanto para tabulá-los sem ajuda de *software* ou programas de análise de julgamentos. A maioria das empresas entende os requisitos da indústria 4.0 como integrantes da propriedade intelectual da empresa, assim houve grande dificuldade em obter as informações necessárias e ao acesso às fontes de evidência, gerando parte da limitação metodológica. Também não foi realizados a aplicação nas empresas, visto dificuldades operacionais. Apesar disso, foi atingido os objetivos da pesquisa.

É inegável a importância da tecnologia de sistemas e *software* para o crescimento industrial e como ela está presente em todos os setores. A indústria 4.0 tende a se tornar cada vez mais necessária e espera-se que a sistemática possa oferecer o suporte e as contribuições para o entendimento e execução dessas novas tecnologias, buscando gerar novos conhecimentos e possibilitando a disseminação das lições aprendidas em um processo de melhoria contínua.

## 6.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

De forma a generalizar a adequação da sistemática final nesta presente, uma sugestão seria incentivar o desdobramento de pesquisas do tipo pesquisa-ação em empresas com as mesmas características das empresas estudadas. Além disso, poderiam ser realizadas pesquisas para viabilização da informatização dessa sistemática.

Uma sistemática que leva em consideração outros requisitos da indústria 4,0, além do desenvolvimento de *software* pode ser considerada como sugestão para trabalho futuro. Outra sugestão seria a utilização de outros métodos de tomada de decisão na construção de sistemáticas estruturadas.

A elaboração de novas metodologias de integração do tema estudado, também é aconselhável, além do avanço da sistemática para outras áreas de atuação e o uso integrado de outras abordagens e ferramentas. Uma potencial área seria a governamental no contexto da transformação digital (e-gov) que visa aproveitar o máximo potencial das tecnologias digitais para melhorar a jornada do cidadão na interação com o Estado.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A - Artigos científicos encontrados sobre o desenvolvimento de *software* na indústria 4.0

Quadro A1 - Artigos encontrados sobre o tema (continua)

Número	Título	Autor	Ano	Objetivos
1	<i>Industry 4.0 and its children: The fourth industrial revolution needs qualification</i>	Kho	2013	Nova engenharia e novas ferramentas
2	<i>Industry 4.0 in the CNC technology: Extensive changes in the manufacturing world</i>	Patelay	2013	Expansão do estudo para outras áreas
3	<i>Collaboration Mechanisms to Increase Productivity in the Context of Industrie 4.0</i>	Schuh <i>et al.</i>	2014	Abordagens conduzidas para além da estrutura do Cluster de Excelência
4	<i>The FluidEarth 2 implementation of OpenMI 2.0</i>	Harpham, Cleverley e Kelly	2014	Expansão para outras plataformas
5	<i>Prototyping new concepts beyond 4G - The Fraunhofer Open5GCore</i>	Magedanz	2015	Discussão sobre a integração dos <i>software</i>
6	<i>Industrie 4.0 with MS-excel?</i>	Fricke	2015	Expansão as áreas de conhecimento
7	<i>The agile approach in industrial and software engineering project management</i>	Jovanović <i>et al.</i>	2015	Experiências e recomendações em todas as abordagens industriais
8	<i>WorkDesigner: Consulting Application Software for the Strain-based Staffing and Design of Work Processes</i>	Muller <i>et al.</i>	2015	Discussão além da simulação teórica
9	<i>Empowering User Interfaces for Industrie 4.0</i>	Pfeiffer, Hellmers e Schoen	2016	Integração com outros processos de design
10	<i>Robotic path planning for non-destructive testing - A custom MATLAB toolbox approach</i>	Mineo <i>et al.</i>	2016	Problemas de inspeção e abordagens
11	<i>Industry 4.0 and object-oriented development: Incremental and architectural change</i>	Prause e Weigand	2016	Mudança da perspectiva conceitual
12	<i>Brief discussions on German industry 4.0, Chinese manufacture 2025 and intelligent metallurgy</i>	Bi <i>et al.</i>	2016	Desafios referentes a <i>software</i> e ferramentas de aplicação de processo.
13	<i>A monitoring and control system of agricultural environmental data based on the internet of things</i>	Tang e Yang	2016	Relação com outros ambientes
14	<i>A cost effective trade-off based renewable power augmented energy efficient load model for manufacturing industries for demand side management</i>	Parida <i>et al.</i>	2016	Aplicabilidade em outros tipos de indústrias
15	<i>CAD to VR - A Methodology for the Automated Conversion of Kinematic CAD Models to Virtual Reality</i>	Lorenz <i>et al.</i>	2016	Conceitos e dificuldades da tecnologia nas PMEs
16	<i>Software-defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0</i>	Thames e Schaefer	2016	Tratamento das idéias emergentes

Quadro A1 - Artigos encontrados sobre o tema (continuação)

Número	Título	Autor	Ano	Objetivos
17	<i>Application of Programmable Logic Controller to Build-up an Intelligent Industry 4.0 Platform</i>	Chen, Tai e Chen	2017	Mecanismos e validação
18	<i>Intelligent Production Planning and Control in the Cloud - towards a Scalable Software Architecture</i>	Erol e Sihh	2017	Desenvolvimento do protótipo de pesquisa
19	<i>A Common Software Framework for Energy Data Based Monitoring and Controlling for Machine Power Peak Reduction and Workpiece Quality Improvements</i>	Bauerdick <i>et al.</i>	2017	Expansão da metodologia para novas áreas de estudo
20	<i>Smart Manufacturability Analysis for Digital Product Development</i>	Goguelin <i>et al.</i>	2017	Paradigmas da tecnologia e integração
21	<i>Project-based collaborative engineering learning to develop Industry 4.0 skills within a PLM framework</i>	Vila <i>et al.</i>	2017	Outras possíveis abordagens de aprendizagem ativa
22	<i>Sustaining employability: A process for introducing cloud computing, big data, social networks, mobile programming and cybersecurity into academic curricula</i>	Bologa <i>et al.</i>	2017	Abrangência para determinadas formas e áreas de estudo e pesquisa
23	<i>iMMAS an Industrial Meta-Model for Automation System Using OPC UA</i>	Guerrero e Terriza	2017	Aplicação do modelo em outros ambientes
24	<i>Performance Improvement of Kinect Software Development Kit-Constructed Speech Recognition Using a Client-Server Sensor Fusion Strategy for Smart Human-Computer Interface Control Applications</i>	Ding e Lin	2017	Abordagens tecnológicas e análise de custos
25	<i>Model-Based Development of Knowledge-Driven Self-Reconfigurable Machine Control Systems</i>	Zhou <i>et al.</i>	2017	Comparação com outros modelos
26	<i>Semantic modelling for collaborative robot applications - Model-based code generation</i>	Vogel e Kerber	2017	Abordagem de aspectos colaborativos
27	<i>Digital design and manufacturing on the cloud: A review of software and services</i>	Wu, Terpenney e Schaefer	2017	Aliar as técnicas encontradas com outras vertentes do <i>software</i> e ferramentas da indústria 4.0
28	<i>Multi-scale approach from mechatronic to Cyber-Physical Systems for the design of manufacturing systems</i>	Penas <i>et al.</i>	2017	Explorar técnicas alternativas, além da modelagem
29	<i>Control for Intelligent Manufacturing: A Multiscale Challenge</i>	Li e Si	2017	Conhecimento multidimensional de quase todos os campos da engenharia
30	<i>Challenges and Requirements for the Application of Industry 4.0: A Special Insight with the Usage of Cyber-Physical System</i>	Mueller, Chen e Riedel	2017	Explicar diferentes perspectivas de estrutura
31	<i>I3Mote: An Open Development Platform for the Intelligent Industrial Internet</i>	Martinez <i>et al.</i>	2017	Caracterizar o desempenho em outros cenários
32	<i>Industry 4.0 as the basis of modern metallurgical innovations</i>	Peters	2017	Elencar diferentes características da indústria 4.0 na área estudada

Quadro A1 - Artigos encontrados sobre o tema (continuação)

Número	Título	Autor	Ano	Objetivos
33	<i>User experience framework that combines aspects, dimensions, and measurement methods</i>	Zarour e Alharbi	2017	Trabalhar em conjunto com as características de <i>software</i> ou da indústria
34	<i>Human-machine Collaboration in Virtual Reality for Adaptive Production Engineering</i>	Giorgio <i>et al.</i>	2017	Estudo controlado de seres humanos sobre a implementação
35	<i>From sensor networks to internet of things. Bluetooth low energy, a standard for this evolution</i>	Hortelano <i>et al.</i>	2017	Implementação de outras topologias mais flexíveis
36	<i>Key Technologies in Big Data Applications Development and Runtime Support Platform</i>	Wang <i>et al.</i>	2017	Aplicação em mais domínios
37	<i>A novel design engineering review system with searchable content: knowledge engineering via real-time multimodal recording</i>	Sivanathan, Ritchie e Lim	2017	Estender o sistema aos processos e ambientes elencados
38	<i>A software-defined framework for the integrated management of smart manufacturing systems</i>	Lopez <i>et al.</i>	2018	Expandir para outras tecnologias de automação atuais
39	<i>Smart shopfloor management - Requirements for a digital and smart shop floor management in the age of industry 4.0</i>	Rauch <i>et al.</i>	2018	Conectar o modelo com outras eras da gestão da produção
40	<i>A Practical Evaluation of Commercial Industrial Augmented Reality Systems in an Industry 4.0 Shipyard</i>	Blanco <i>et al.</i>	2018	Ampliar as variáveis dentro do cenário
41	<i>Programming skills in the industry 4.0: are chemical engineering students able to face new problems?</i>	Telles, Vianna Jr. e Le Roux	2018	Expandir o estudo dentro da instituição de ensino
42	<i>IIoT-SIDefender: Detecting and defense against the sensitive information leakage in industry IoT</i>	Sha, Xiao e Chen	2018	Expansão das semânticas encontradas
43	<i>Security for the Robot Operating System</i>	Dieber <i>et al.</i>	2018	Outros sistemas de controle e dificuldades
44	<i>Data fusion and machine learning for industrial prognosis: Trends and perspectives towards Industry 4.0</i>	Diez-Olivan <i>et al.</i>	2018	Caracterizar a prontidão da empresa para usar a Indústria 4.0.
45	<i>Delay Estimation of Industrial IoT Applications Based on Messaging Protocols</i>	Ferrari <i>et al.</i>	2018	<i>Software</i> de avaiiação de informações
46	<i>Metamodel for integration of Internet of Things, Social Networks, the Cloud and Industry 4.0</i>	Molano <i>et al.</i>	2018	Analisar o uso e princípios da internet das coisas
47	<i>RFID Technology for Management and Tracking: e-Health Applications</i>	Alvarez <i>et al.</i>	2018	Papel do RFID na indústria 4.0
48	<i>Concept of SME Business Model for Industry 4.0 Environment</i>	Safar <i>et al.</i>	2018	Trabalho com soluções de <i>software</i> e nuvem
49	<i>X-DNNs: Systematic Cross-Layer Approximations for Energy-Efficient Deep Neural Networks</i>	Hanif <i>et al.</i>	2018	Estudos de caso no nível de <i>software</i> e hardware
50	<i>Digital innovation and the fourth industrial revolution: epochal social changes?</i>	Caruso	2018	Mudanças proporcionadas pela indústria 4.0

Quadro A1 - Artigos encontrados sobre o tema (continuação)

Número	Título	Autor	Ano	Objetivos
51	<i>Digitalisation and employment in manufacturing</i>	Freddi	2018	Apresentar o efeitos da digitalização no emprego
52	<i>XPSSurfA: An open collaborative XPS data repository using the CMSShub platform</i>	Barlow <i>et al.</i>	2018	Relatar a produção de um novo banco de dados digital
53	<i>Management approaches for industry 4.0-the organizational culture perspective</i>	Mohelska e Sokolova	2018	Apoiar o ambiente para inovação na organização
54	<i>Software Defined Networking Firewall for Industry 4.0 Manufacturing Systems</i>	Tsuchiya <i>et al.</i>	2018	Proposição de arquitetura para padrões de segurança cibernética
55	<i>Which regression method to use? Making informed decisions in data-rich/knowledge poor scenarios - The Predictive Analytics Comparison framework (PAC)</i>	Rendall e Reis	2018	Nova proposição de estrutura de <i>software</i>
56	<i>Low-Cost Design Solutions for Educational Robots</i>	Tiboni <i>et al.</i>	2018	Apresentar projeto multidisciplinar de aprendizagem baseada em robótica
57	<i>Factors Determining Innovation Activity of SMEs in the Greater Poland Region in the Transition to the Fourth Industrial Revolution</i>	Mizgajska e Wściubiak	2018	Identificar fatores determinantes da atividade de inovação
58	<i>Towards supply chain management 4.0</i>	Frazzon <i>et al.</i>	2019	Apresentar os elementos tecnológicos para o <i>Supply Chain Management 4.0</i>
59	<i>Modeling and Optimization for Automobile Mixed Assembly Line in Industry 4.0</i>	Gong, Zou e Kan	2019	Propor modelo em excelência de fabricação
60	<i>A Survey on Industrial Internet of Things: A Cyber-Physical Systems Perspective</i>	Xu <i>et al.</i>	2019	Exploração do 5G e redes definidas por <i>software</i> .
61	<i>Remote laboratory design and implementation as a measurement and automation experiential learning opportunity</i>	Bonavolonta <i>et al.</i>	2019	Aprendizagem sobre fabricação e ambientes inteligentes
62	<i>Cyber-physical production systems architecture based on multi-agent's design pattern-comparison of selected approaches mapping four agent patterns</i>	Cruz <i>et al.</i>	2019	Modelo de arquitetura referência em indústria 4.0
63	<i>Architecture For Automation System Metrics Collection, Visualization and Data Engineering-HAMK Sheet Metal Center Building Automation Case Study</i>	Dang e Trotskii	2019	Implementação de tecnologia para melhorar os sistemas de automação
64	<i>Scopus scientific mapping production in industry 4.0 (2011?2018): a bibliometric analysis</i>	Kipper <i>et al.</i>	2019	Identificar a evolução dos temas inerentes à indústria 4.0
65	<i>Tangible user interface vocabulary to physically enhance space systems engineering tools</i>	Cerqueira, Ambrósio e Kirner	2019	Aprimorar fisicamente as ferramentas de <i>software</i>
66	<i>Design and development of a novel knowledge-based decision support system for industrial safety management at drilling process HAZFO Expert 1.0</i>	Asad <i>et al.</i>	2019	Novas tecnologias para segurança da força de trabalho.

Quadro A1 - Artigos encontrados sobre o tema (continuação)

Número	Título	Autor	Ano	Objetivos
67	<i>Luminaire Digital Design Flow with Multi-Domain Digital Twins of LEDs</i>	Martin <i>et al.</i>	2019	Suportar novos fluxos de trabalho totalmente digitais
68	<i>Internet of things and the environment</i>	Danubianu, Teodorescu e Corneanu	2019	Avaliar os benefícios e riscos das políticas aliadas a IoT
69	<i>Cloud-Based Materials and Product RealizationFostering ICME Via Industry 4.0</i>	Nellippallil <i>et al.</i>	2019	Arquitetura de plataforma computacional baseada em nuvem
70	<i>The Impact of VR Application on Student's Competency Development: A Comparative Study of Regular and VR Engineering Classes with Similar Competency Scopes</i>	Hee, Lee e Shvetsova	2019	Efeito do ensino baseado em realidade virtual
71	<i>Analysis of possible SDN use in the rapid prototyping process as part of the Industry 4.0</i>	Mazur <i>et al.</i>	2019	Modelo de referência em camadas de prototipagem rápida
72	<i>Improved Industrial Modeling and Harmonic Mitigation of a Grid Connected Steel Plant in Libya</i>	Oun, Benabdallah e Cherif	2019	Desenhar uma usina conectada à rede complexa de realidade virtual
73	<i>Analysis of economic and mathematical models of information and communication technology (ict) effect on the production output: does the solow paradox exist?</i>	Harkushenko e Kniaziev	2019	Impacto da tecnologia de computadores
74	<i>A Survey on Information and Communication Technologies for Industry 4.0: State-of-the-Art, Taxonomies, Perspectives, and Challenges</i>	Aceto, Persico e Pescapé	2019	Complexidades da indústria 4.0
75	<i>An Overview of Industry 4.0 Development Directions in the Industrial Internet of Things Context</i>	Nicolae, Korodi e Silea	2019	Visão sobre o desenvolvimento dentro da indústria 4.0
76	<i>Industry 4.0 and digitalization of the national measurement standards</i>	Skliarov e Prokopov	2019	Uso de tecnologias de <i>software</i> digital nos padrões nacionais de medição
77	<i>Development capabilities for smart products</i>	Tomiyama <i>et al.</i>	2019	Analisa as tendências de tecnologias emergentes de desenvolvimento
78	<i>Development and Assessment of a Mold Design Curriculum Corresponding to Industry 4.0 Based on the CDIO Principles</i>	Tseng, Lee e Tai	2019	Mostra as tendências de desenvolvimento da indústria
79	<i>Readiness of enterprises in Czech Republic to implement industry 4.0: Index of industry 4.0</i>	Vrchota e Pech	2019	Caracteriza a prontidão da empresas para usar a Indústria 4.0
80	<i>Complexity drivers in engineering design Toward a decision support system based on an organizational perspective</i>	Benabdellah, Benghabrit e Bouhaddou	2020	Explorar o processo de design no setor 4.0
81	<i>Advancing manufacturing systems with big-data analytics: A conceptual framework</i>	Kozjek <i>et al.</i>	2020	Análise de big data nos sistemas de manufatura.
82	<i>Industry 4.0 based process data analytics platform: A waste-to-energy plant case study</i>	Kabugo <i>et al.</i>	2020	Apresentar plataforma de análise de dados de processo em indústria 4.0



Quadro A1 - Artigos encontrados sobre o tema (conclusão)

Número	Título	Autor	Ano	Objetivos
83	<i>Different Flexibilities of 3D Scanners and Their Impact on Distinctive Applications: An Analysis</i>	Javaid <i>et al.</i>	2020	Identificar várias flexibilidades de scanners 3D e suas aplicações
84	<i>The Ability of Project Managers to Implement Industry 4.0-Related Projects</i>	Marnewick e Marnewick	2020	Enfocar os estilos de liderança e a implementação de novas tecnologias
85	<i>Industrial blockchain based framework for product lifecycle management in industry 4.0</i>	Liu <i>et al.</i>	2020	Uso da tecnologia na indústria com a integração de IoT e algoritmos
86	<i>An analysis of total quality management (TQM) within the thai auto parts sector</i>	Petcharit, Sornsaruht e Pimdee	2020	Nova geração de veículos elétricos e autônomos.
87	<i>Development of an agile concept for mbse for future digital products through the entire life cycle management called Munich agile MBSE concept (MAGIC)</i>	Salehi	2020	Modelagem para o desenvolvimento da internet das coisas

APÊNDICE B - Trabalhos publicados em congressos e conferências sobre o desenvolvimento de *software* na indústria 4.0

Quadro B1 - Trabalhos publicados em congressos e conferências sobre o tema (continua)

Número	Título	Autor	Ano	Objetivos
88	<i>Applying actual development progress into education</i>	Albrecht e Anderl	2014	Estruturas de dados complexos e algoritmos
89	<i>Collaboration Mechanisms to increase Productivity in the Context of Industrie 4.0</i>	Schuh <i>et al.</i>	2014	Validação dos indicadores de desempenho
90	<i>The value of FPGAs as reconfigurable hardware enabling Cyber-Physical Systems</i>	Grimm <i>et al.</i>	2015	Arquitetura e poder de processamento
91	<i>User interfaces for cyber-physical systems: Challenges and possible approaches</i>	Paelke e Röcker	2015	Expansão da inteligência incorporada
92	<i>Evaluation of context management architectures: The case of context framework and context broker</i>	Hämmerle <i>et al.</i>	2015	Desenvolver os critérios de conhecimento
93	<i>WorkDesigner: Consulting application software for the strain-based staffing and design of work processes</i>	Mueller, Chen e Riedel	2015	Futuros desenvolvimentos além da simulação
94	<i>Design of a Virtual Reality framework for maintainability and assemblability test of complex systems</i>	Marzano, Friel e Erkoyuncu	2015	Caráter subjetivo dentro da simulação
95	<i>A distributed software architecture for remote monitor and control of the smart buildings</i>	Ungurean, Gaitan e Gaitan	2015	Aquisição de dados e especificações
96	<i>ADN and AP Programs for Civil Engineering Students</i>	Tuchkevich <i>et al.</i>	2015	Lacuna indústria e universidade
97	<i>Agile Factory - An Example of an Industry 4.0 Manufacturing Process</i>	Scheuermann, Verclas e Bruegge	2015	Expansão além do domínio de fabricação
98	<i>Key Metrics and Key Drivers in the Valuation of Public Enterprise Resource Planning Companies</i>	Trusculescu, Draghici e Albulescu	2015	Indicadores de desempenho operacional
99	<i>Industrie 4.0 with MS-Excel?</i>	Schoeneberger e Fricke	2015	Necessidade de <i>software</i> estável
100	<i>Cloud-based integrated shop-floor planning and control of manufacturing operations for mass customisation</i>	Mourtzis <i>et al.</i>	2015	Avaliação de estratégias e incerteza na demanda e oferta
101	<i>Simulation-based planning of production capacity through integrative roadmapping in the wind turbine industry</i>	Denkena e Winter	2015	Medidas de planejamento de fábrica
102	<i>Robot quarter 4.0: An urban test ground for learning, living, and working with service robots</i>	Liu, Wiesenhuetter e Noennig	2016	Novo nível de uma escala Humano-Máquina-Interação
103	<i>An approach supporting real-time project management in plant building and the construction industry</i>	Dallasega, Frosolini e Matt	2016	Diretrizes de design de <i>software</i>

Quadro B1 - Trabalhos publicados em congressos e conferências sobre o tema (continuação)

Número	Título	Autor	Ano	Objetivos
104	<i>Increasing production efficiency through electronic batch record systems: A case study</i>	Marsh e Eyers	2016	Índices de eficiência em produção
105	<i>The virtual rolling mill - enhancing product development and commissioning</i>	Klinkov e Feist	2016	Ampla variedade de aplicações
106	<i>Process systems lifecycle management using a model based engineering approach</i>	Hernandez <i>et al.</i>	2016	Potencial de design
107	<i>XaaS Multi-Cloud Marketplace Architecture Enacting the Industry 4.0 Concepts</i>	Juan-Verdejo e Surajbali	2016	Diferentes interfaces e ambientes
108	<i>Formal Model-Based Development in Industrial Automation with Reactive Blocks</i>	Herrmann e Blech	2016	Desenvolvimento de estruturas de <i>software</i>
109	<i>Barnelkar: A Collaborative University-Industry Learning Experience To Boost Diversification Strategy in SMEs</i>	Ganzarain, León e Igartua	2016	Diversificação das empresas
110	<i>Virtual Reality in Context of Industry 4.0</i>	Kovar <i>et al.</i>	2016	Condições operacionais
111	<i>A Distributed Time Server for the Real-Time Extension of CoAP</i>	Konieczek <i>et al.</i>	2016	Requisitos para tecnologia
112	<i>IoT-based Integration of IEC 61131 Industrial Automation Systems: The case of UML4IoT</i>	Christoulakis e Thramboulidis	2016	Implementação e medição de desenvolvimento
113	<i>Manufacturing Ontology Development based on Industry 4.0 Demonstration Production Line</i>	Cheng <i>et al.</i>	2016	Expansão da manufatura
114	<i>Beyond Agile Methodologies: a Conceptual Analysis for Software Process Pipeline in the Industry 4.0</i>	Chirici e Wang	2016	Análise do <i>software</i>
115	<i>Human-Centered Software Engineering as a Chance to Ensure Software Quality Within the Digitization of Human Workflows</i>	Fischer e Senft	2016	Paradigmas da engenharia de <i>software</i>
116	<i>Product Lifecycle Management - How to adapt PLM to support changing product development processes in industry?</i>	Bitzer, Vielhaber e Kaspar	2016	Requisitos e recursos
117	<i>HaRTKad: A P2P-based Concept for Deterministic Communication and Its Limitations</i>	Konieczek <i>et al.</i>	2016	Abordagem de soluções
118	<i>Software-Defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0</i>	Thames e Schaefer	2016	Noções de sistemas
119	<i>CAD to VR - a methodology for the automated conversion of kinematic CAD models to virtual reality</i>	Lorenz <i>et al.</i>	2016	Conversão de interfaces de sistemas
120	<i>Analysis of response variables in WEDM of Inconel 718 using Taguchi technique</i>	Dabade e Karidkar	2016	Análise dos parâmetros operacionais

Quadro B1 - Trabalhos publicados em congressos e conferências sobre o tema (continuação)

Número	Título	Autor	Ano	Objetivos
121	<i>Computer Vision Based Fruit Grading System for Quality Evaluation of Tomato in Agriculture industry</i>	Arakeri	2016	Automatização e classificação
122	<i>Energy efficiency in industry 4.0 using SDN</i>	Lins e Oliveira	2017	Exploração da eficiência na indústria
123	<i>An ensemble-based approach for scalable QoS in highly dynamic CPS</i>	Matena, Masrur e Bures	2017	Codificação e dispositivos
124	<i>DIIG: A Distributed Industrial IoT Gateway</i>	Hemmatpour <i>et al.</i>	2017	Mecanismos de avaliação de desempenho
125	<i>Digital heritage, theory and innovative practice</i>	He, Ma e Zhang	2017	Estrutura digital
126	<i>Leveraging SDN to improve security in industrial networks</i>	Cheminod <i>et al.</i>	2017	Benefícios e desempenho
127	<i>Bridging the skills gap of workers in industry 4.0 by human performance augmentation tools - Challenges and roadmap</i>	Ras <i>et al.</i>	2017	Habilidade e complexidade dos sistemas
128	<i>Doctoral symposium: A new application benchmark for data stream processing architectures in an enterprise context</i>	Hesse <i>et al.</i>	2017	Processamento de fluxos de dados
129	<i>Requirements analysis for the design of workplace-integrated learning scenarios with mobile devices: Mapping the territory for learning in industry 4.0</i>	Wilke e Magenheimer	2017	Diversificação dos cenários de aprendizagem
130	<i>A systems engineering approach to systematic innovation in an industry-university collaboration</i>	Cross e Felis	2017	Inovação focada em sistemas
131	<i>Internet of things technologies in manufacturing: Application areas, challenges and outlook</i>	Papakostas, O'Connor e Byrne	2017	Flexibilidade das operações
132	<i>Virtual reality in context of Industry 4.0 proposed projects at Brno University of Technology</i>	Kovar <i>et al.</i>	2017	Cadeia de dados integrada
133	<i>Diversity and PERMA-nent positive leadership to benefit from industry 4.0 and Kondratieff 6.0</i>	Sauberer, Riel e Messnarz	2017	Pré requisitos da indústria 4.0
134	<i>Supporting awareness and reflection in companies to move towards industry 4.0</i>	Kravčik, Ullrich e Igel	2017	Suporte e monitoração
135	<i>Software updates in safety and security co-engineering</i>	Mugarza, Parra e Jacob	2017	Segurança e proteção de <i>software</i>
136	<i>Ergonomics and design in industry 4.0</i>	Laudante	2017	Abordagens inovadoras de processos
137	<i>From the cyber-physical system to the digital twin: The process development for behaviour modelling of a cyber guided vehicle in M2M logic</i>	Bottani <i>et al.</i>	2017	Arquitetura e processos de configuração
138	<i>Telematics and advanced transportation services</i>	Dow	2017	Integração e atualização de produtos
139	<i>Using discrete simulation to support internal logistics process design</i>	Campos <i>et al.</i>	2017	Flexibilidade das ferramentas

Quadro B1 - Trabalhos publicados em congressos e conferências sobre o tema (continuação)

Número	Título	Autor	Ano	Objetivos
140	<i>The CPS and LCA modelling: An integrated approach in the environmental sustainability perspectiv</i>	Ballarino <i>et al.</i>	2017	Barreiras e sustentabilidade
141	<i>Smart services - characteristics, challenges, opportunities and business models</i>	Marquardt	2017	Busca pelas melhores práticas
142	<i>Industry 4.0 Interface for Dynamic Reconfiguration of an Open Lab Size Automated Production System to Allow Remote Community Experiments</i>	Bougouffa <i>et al.</i>	2017	Informações de controle e automação
143	<i>Seamless test environment for distributed embedded wireless networks</i>	Sebastian <i>et al.</i>	2017	Verificação de códigos e plataformas
144	<i>Comparison of Agent Oriented Software Methodologies to Apply in Cyber Physical Production Systems</i>	Cruz e Vogel-Heuser	2017	Implementação de novos processos
145	<i>Current Status of Software Development in Industrial Practice: Key Results of a Large-Scale Questionnaire</i>	Vogel-Heuser e Sardá-Espinosa	2017	Extensão dos desafios da indústria 4.0
146	<i>Requirements for a cloud-based Control System interacting with Soft Bodies</i>	Tomzik e Xu	2017	Programação e linguagem
147	<i>Enabling an Automation Architecture of CPPs based on UML combined with IEC-61499</i>	Castellanos <i>et al.</i>	2017	Design e controle eficaz
148	<i>Cloud Computing for Big Data Analytics in the Process Control Industry</i>	Goldin <i>et al.</i>	2017	Abordagem orientada a dados e configuração
149	<i>Graph analysis of Fog Computing Systems for Industry 4.0</i>	Verba <i>et al.</i>	2017	Cenários e otimização
150	<i>Intelligent Mining Engineering Systems in the Structure of Industry 4.0</i>	Rylnikova, Radchenko e Klebanov	2017	Produção tecnológica e informatizada
151	<i>NIMBLE Collaborative Platform: Microservice Architectural Approach to Federated IoT</i>	Innerbichler <i>et al.</i>	2017	Arquitetura de <i>software</i>
152	<i>ASID: Advanced System for Process Control towards Intelligent Specialization in the Power Engineering Field</i>	Stamatescu <i>et al.</i>	2017	Novos sistemas integrados
153	<i>Emerging Curriculum for Industry and Human Applications in Internet of Things</i>	Kharchenko <i>et al.</i>	2017	Programas de capacitação
154	<i>Human-machine collaboration in virtual reality for adaptive production engineering</i>	Giorgio <i>et al.</i>	2017	Colaboração homem-robô
155	<i>Collaborative Development of Business Models in Smart Service Ecosystems</i>	Bullinger <i>et al.</i>	2017	Modelos de negócio colaborativos e inteligentes
156	<i>Application of Programmable Logic Controller to Build-up an Intelligent Industry 4.0 Platform</i>	Chen, Tai e Chen	2017	Fundamentos da fábrica digital

Quadro B1 - Trabalhos publicados em congressos e conferências sobre o tema (continuação)

Número	Título	Autor	Ano	Objetivos
157	<i>Smart Manufacturability Analysis for Digital Product Development</i>	Goguelin <i>et al.</i>	2017	Paradigmas da fabricação baseada em nuvem
158	<i>Industry of the future: Implementation of collaborative CAE tools in Industrial Engineering Degrees</i>	Sancibrian e Garcia	2017	Ferramentas de desenvolvimento
159	<i>Intelligent production planning and control in the cloud - towards a scalable software architecture</i>	Erol e Sihm	2017	Planejamento e controle da produção inteligente
160	<i>Towards Industry 4.0: Gap Analysis between Current Automotive MES and Industry Standards using Model-Based Requirement Engineering</i>	Kannan <i>et al.</i>	2017	Requisitos e sistemas de manufatura
161	<i>Developing High Value IoT Solutions Using AI Enhanced ISO 16355 for QFD Integrating market drivers into the design of IoT Offerings</i>	Stansfield e Azmat	2017	Design e desenvolvimento de sistemas
162	<i>Technology Innovation-Oriented Complex Product Systems R&amp;D Investment and Financing Risk Management: An Integrated Review</i>	Xu e Tang	2017	Inteligência incorporada e seus riscos
163	<i>A Common Software Framework for Energy Data Based Monitoring and Controlling for Machine Power Peak Reduction and Workpiece Quality Improvements</i>	Bauerdick <i>et al.</i>	2017	Novas estruturas de software
164	<i>SDN-Enabled Network Virtualization for Industry 4.0 Based on IoTs and Cloud Computing</i>	Ma, Chen e Chen	2017	Infra-estrutura definida por software
165	<i>Design of a robotized workstation making use of the integration of CAD models and Robotic Simulation software as way of pairing and comparing real and virtual environments</i>	Velisek <i>et al.</i>	2017	Modelos integrados informatizados
166	<i>Field Study on the Application of a Simulation-Based Software Tool for the Strain-Based Staffing in Industrial Manufacturing</i>	Gust <i>et al.</i>	2017	Novos processos de fabricação
167	<i>Application of a Simulation-Based Software Tool for the Prospective Design of IT Work Places</i>	Feller <i>et al.</i>	2017	Transformação digital
168	<i>Model-driven requirements engineering using RAMI 4.0 based visualizations</i>	Uslar e Hanna	2018	Modelos de software
169	<i>Utilizing the internet of things (IoT) technologies in the implementation of industry 4.0</i>	Zawra <i>et al.</i>	2018	Tecnologia e implementação na indústria
170	<i>On the Need for Artifact Models in Model-Driven Systems Engineering Projects</i>	Butting <i>et al.</i>	2018	Desenvolvimento orientado por modelos
171	<i>Security challenges in cyber-physical production systems</i>	Kieseberg e Weippl	2018	Segurança e proteção de software
172	<i>Development of a Customized Interface for a Robotic Welding Application at Navantia Shipbuilding Company</i>	Galindo <i>et al.</i>	2018	Soluções em robótica

Quadro B1 - Trabalhos publicados em congressos e conferências sobre o tema (conclusão)

Número	Título	Autor	Ano	Objetivos
173	<i>The Role of Computer Science and Software Technology in Organizing Universities for Industry 4.0 and Beyond</i>	Akşit	2018	Descreve os desafios de engenharia de <i>software</i> e tecnologia
174	<i>Real-Time Capable Internet Technologies for Wired Communication in the Industrial IoT-a Survey</i>	Danielis <i>et al.</i>	2018	Discussão sobre como se pode atender aos requisitos de cenários futuros da IoT
175	<i>Production planning and control systems - a new software architecture Connectivity in target</i>	Ellwein, Elser e Riedel	2019	Revisão das arquiteturas de <i>software</i> atuais.
176	<i>The role of measurement and simulation in additive manufacturing within the frame of Industry 4.0</i>	D'Emilia <i>et al.</i>	2019	Modelos de simulação baseados em manufaturas tecnológicas.
177	<i>A Novel Framework for Intelligent Automation</i>	Coito <i>et al.</i>	2019	Abordar os requisitos dos recursos de automação inteligente.
178	<i>A RAMI 4.0 View of Predictive Maintenance: Software Architecture, Platform and Case Study in Steel Industry</i>	Bousdekis <i>et al.</i>	2019	Desenvolvimento de um sistema aplicado a indústria 4.0.
179	<i>Model-driven development of agent-based cyber-physical systems</i>	Batchkova e Ivanova	2019	Definir um modelo de processo de <i>software</i> por modelo baseado em agentes.
180	<i>Bibliometric Analysis of Published Literature on Industry 4.0</i>	Ahmi, Elbardan e Ali	2019	Analisar a literatura científica publicada no campo da indústria 4.0.
181	<i>Context-Aware Service Orchestration in Smart Environments</i>	Soic <i>et al.</i>	2020	Propõe a simplificação de sistemas em grande escala
182	<i>Manageable and Scalable Manufacturing IT Through an App Based Approach</i>	Knecht, Schuller e Miclaus	2020	Conceitos organizacionais de um ecossistema de <i>software</i> para o chão de fábrica.

APÊNDICE C - Questionário utilizado na fase de análise de especialistas que avaliaram a adequação dos requisitos da sistemática.

Prezado Dr. X,

Em apresentação do meu trabalho de doutoramento, o **Sr. Y** indicou o nome do senhor como um especialista para ajudar no desenvolvimento dessa pesquisa.

Esta pesquisa é parte integrante da tese em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, que propõe uma sistemática estabelecendo os requisitos gerais para o desenvolvimento de *software* no contexto da indústria 4.0. O senhor está sendo convidado a participar, por desenvolver atividades ligadas aos conceitos da indústria 4.0. Garantimos o sigilo das informações pessoais e anonimato.

**Em anexo ao e-mail**, se encontra a sistemática fundamentada na teoria e solicitamos, de acordo com suas experiências acadêmicas e práticas, responda as perguntas:

**Qual sua opinião crítica sobre a sistemática?**

**Acrescentaria ou tiraria algum requisito?**

**Qual elemento é o mais importante e/ou mais relevante? Porque?**

Aguardamos a resposta desse e-mail no formato de texto ou de áudio (WhatsApp) e agradecemos antecipadamente sua participação; nos colocamos à disposição para quaisquer informações que se fizerem necessárias.

Atenciosamente,

***Msc. Karollay Giuliani de Oliveira Valério (Doutoranda)***

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

karollayoliveira@hotmail.com

***Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches da Silva (Orientador)***

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

sanches@unifei.edu.br

***Prof.ª Dra. Sandra Miranda Neves (Coorientadora)***

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

sandraneves@unifei.edu.br



APÊNDICE D - Comparações realizadas pelos especialistas no AHP para priorização dos critérios e subcritérios

As Tabelas D1 a D6 apresentam as comparações fornecidas pelo especialista 1

Tabela D1 - Importância dos critérios

	Análise de oportunidade	Tecnologia da informação	Novas interfaces e dados	Gestão integrada e inteligente	Mudança e aprendizagem
Análise de oportunidade	1	5	5	3	5
Tecnologia da informação	0,20	1	2	1	3
Novas interfaces e dados	0,20	0,50	1	3	3
Gestão integrada e inteligente	0,33	1,00	0,33	1	1
Mudança e aprendizagem	0,20	0,33	0,33	1,00	1

Tabela D2 - Importância dos subcritérios no critério análise de oportunidade

	Eficiência operacional 2.0	Otimização do modelo de negócios
Eficiência operacional 2.0	1	7
Otimização do modelo de negócios	0,14	1

Tabela D3 - Importância dos subcritérios no critério tecnologia da informação

	Integração de TI	Gerenciamento de segurança de TI
Integração de TI	1	1
Gerenciamento de segurança de TI	1,00	1

Tabela D4 - Importância dos subcritérios no critério novas interfaces e dados

	Novo gerenciamento de PI	Análise e gerenciamento de dados	Aplicações baseadas em nuvens
Novo gerenciamento de PI	1	1	1
Análise e gerenciamento de dados	1	1	1
Aplicações baseadas em nuvens	1	1	1

Tabela D5 - Importância dos subcritérios no critério gestão integrada e inteligente

	Cadeia de suprimentos inteligente	Logística inteligente	Gerenciamento do ciclo de vida
Cadeia de suprimentos inteligente	1	1	1
Logística inteligente	1	1	1
Gerenciamento do ciclo de vida	1	1	1

Tabela D6 - Importância dos subcritérios no critério mudança e aprendizagem

	Negócio corporativo	Aprendizagem organizacional
Negócio corporativo	1	3
Aprendizagem organizacional	0,33333333	1

As Tabelas D7 a D12 apresentam as comparações fornecidas pelo especialista 2

Tabela D7 - Importância dos critérios

	Análise de oportunidade	Tecnologia da informação	Novas interfaces e dados	Gestão integrada e inteligente	Mudança e aprendizagem
Análise de oportunidade	1	0,25	2	2	1
Tecnologia da informação	4,00	1	1	4	2
Novas interfaces e dados	0,50	1,00	1	3	1
Gestão integrada e inteligente	0,50	0,25	0,33	1	0,50
Mudança e aprendizagem	1,00	0,50	1,00	2,00	1

Tabela D8- Importância dos subcritérios no critério análise de oportunidade

	Eficiência operacional 2.0	Otimização do modelo de negócios
Eficiência operacional 2.0	1	0,14
Otimização do modelo de negócios	7,00	1

Tabela D9 - Importância dos subcritérios no critério tecnologia da informação

	Integração de TI	Gerenciamento de segurança de TI
Integração de TI	1	1
Gerenciamento de segurança de TI	1,00	1

Tabela D10 - Importância dos subcritérios no critério novas interfaces e dados

	Novo gerenciamento de PI	Análise e gerenciamento de dados	Aplicações baseadas em nuvens
Novo gerenciamento de PI	1	0,25	0,25
Análise e gerenciamento de dados	4	1	1
Aplicações baseadas em nuvens	4	1	1

Tabela D11 - Importância dos subcritérios no critério gestão integrada e inteligente

	Cadeia de suprimentos inteligente	Logística inteligente	Gerenciamento do ciclo de vida
Cadeia de suprimentos inteligente	1	1	1
Logística inteligente	1	1	1
Gerenciamento do ciclo de vida	1	1	1

Tabela D12 - Importância dos subcritérios no critério mudança e aprendizagem

	Negócio corporativo	Aprendizagem organizacional
Negócio corporativo	1	1
Aprendizagem organizacional	1	1

As Tabelas D13 a D18 apresentam as comparações fornecidas pelo especialista 3

Tabela D13 - Importância dos critérios

	Análise de oportunidade	Tecnologia da informação	Novas interfaces e dados	Gestão integrada e inteligente	Mudança e aprendizagem
Análise de oportunidade	1	2	1	5	7
Tecnologia da informação	0,50	1	2	5	5
Novas interfaces e dados	1,00	0,50	1	7	4
Gestão integrada e inteligente	0,20	0,20	0,14	1	3
Mudança e aprendizagem	0,14	0,20	0,25	0,33	1

Tabela D14- Importância dos subcritérios no critério análise de oportunidade

	Eficiência operacional 2.0	Otimização do modelo de negócios
Eficiência operacional 2.0	1	5
Otimização do modelo de negócios	0,20	1

Tabela D15 - Importância dos subcritérios no critério tecnologia da informação

	Integração de TI	Gerenciamento de segurança de TI
Integração de TI	1	5
Gerenciamento de segurança de TI	0,20	1

Tabela D16 - Importância dos subcritérios no critério novas interfaces e dados

	Novo gerenciamento de PI	Análise e gerenciamento de dados	Aplicações baseadas em nuvens
Novo gerenciamento de PI	1	1	5
Análise e gerenciamento de dados	1	1	5
Aplicações baseadas em nuvens	0,2	0,2	1

Tabela D17 - Importância dos subcritérios no critério gestão integrada e inteligente

	Cadeia de suprimentos inteligente	Logística inteligente	Gerenciamento do ciclo de vida
Cadeia de suprimentos inteligente	1	5	4
Logística inteligente	0,2	1	2
Gerenciamento do ciclo de vida	0,25	0,5	1

Tabela D18 - Importância dos subcritérios no critério mudança e aprendizagem

	Negócio corporativo	Aprendizagem organizacional
Negócio corporativo	1	7
Aprendizagem organizacional	0,142857143	1

As Tabelas D19 a D24 apresentam as comparações fornecidas pelo especialista 4

Tabela D19 - Importância dos critérios

	Análise de oportunidade	Tecnologia da informação	Novas interfaces e dados	Gestão integrada e inteligente	Mudança e aprendizagem
Análise de oportunidade	1	0,1429	0,1429	0,3333	0,25
Tecnologia da informação	7,00	1	1	1	2
Novas interfaces e dados	7,00	1,00	1	2	2
Gestão integrada e inteligente	3,00	1,00	0,50	1	0,50
Mudança e aprendizagem	4,00	0,50	0,50	2,00	1

Tabela D20- Importância dos subcritérios no critério análise de oportunidade

	Eficiência operacional 2.0	Otimização do modelo de negócios
Eficiência operacional 2.0	1	7,00
Otimização do modelo de negócios	0,14	1

Tabela D21 - Importância dos subcritérios no critério tecnologia da informação

	Integração de TI	Gerenciamento de segurança de TI
Integração de TI	1	1
Gerenciamento de segurança de TI	1,00	1

Tabela D22 - Importância dos subcritérios no critério novas interfaces e dados

	Novo gerenciamento de PI	Análise e gerenciamento de dados	Aplicações baseadas em nuvens
Novo gerenciamento de PI	1	1	1
Análise e gerenciamento de dados	1	1	1
Aplicações baseadas em nuvens	1	1	1

Tabela D23 - Importância dos subcritérios no critério gestão integrada e inteligente

	Cadeia de suprimentos inteligente	Logística inteligente	Gerenciamento do ciclo de vida
Cadeia de suprimentos inteligente	1	1	1
Logística inteligente	1	1	1
Gerenciamento do ciclo de vida	1	1	1

Tabela D24 - Importância dos subcritérios no critério mudança e aprendizagem

	Negócio corporativo	Aprendizagem organizacional
Negócio corporativo	1	1
Aprendizagem organizacional	1	1

As Tabelas D25 a D30 apresentam as comparações fornecidas pelo especialista 5

Tabela D25 - Importância dos critérios

	Análise de oportunidade	Tecnologia da informação	Novas interfaces e dados	Gestão integrada e inteligente	Mudança e aprendizagem
Análise de oportunidade	1	9	6	5	7
Tecnologia da informação	0,11	1	2	0,20	0,25
Novas interfaces e dados	0,17	0,50	1	2	2
Gestão integrada e inteligente	0,20	5,00	0,50	1	2
Mudança e aprendizagem	0,14	4,00	0,50	0,50	1

Tabela D26- Importância dos subcritérios no critério análise de oportunidade

	Eficiência operacional 2.0	Otimização do modelo de negócios
Eficiência operacional 2.0	1	0,166666667
Otimização do modelo de negócios	6,00	1

Tabela D27 - Importância dos subcritérios no critério tecnologia da informação

	Integração de TI	Gerenciamento de segurança de TI
Integração de TI	1	0,125
Gerenciamento de segurança de TI	8,00	1

Tabela D28 - Importância dos subcritérios no critério novas interfaces e dados

	Novo gerenciamento de PI	Análise e gerenciamento de dados	Aplicações baseadas em nuvens
Novo gerenciamento de PI	1	2	6
Análise e gerenciamento de dados	0,5	1	6
Aplicações baseadas em nuvens	0,166666667	0,166666667	1

Tabela D29 - Importância dos subcritérios no critério gestão integrada e inteligente

	Cadeia de suprimentos inteligente	Logística inteligente	Gerenciamento do ciclo de vida
Cadeia de suprimentos inteligente	1	1	0,2
Logística inteligente	1	1	0,2
Gerenciamento do ciclo de vida	5	5	1

Tabela D30 - Importância dos subcritérios no critério mudança e aprendizagem

	Negócio corporativo	Aprendizagem organizacional
Negócio corporativo	1	4
Aprendizagem organizacional	0,25	1

As Tabelas D31 a D36 apresentam as comparações fornecidas pelo especialista 6

Tabela D31 - Importância dos critérios

	Análise de oportunidade	Tecnologia da informação	Novas interfaces e dados	Gestão integrada e inteligente	Mudança e aprendizagem
Análise de oportunidade	1	5	3	3	0,3333
Tecnologia da informação	0,20	1	1	1	0,20
Novas interfaces e dados	0,33	1,00	1	0,3333	0,3333
Gestão integrada e inteligente	0,33	1,00	3,00	1	0,20
Mudança e aprendizagem	3,00	5,00	3,00	5,00	1

Tabela D32- Importância dos subcritérios no critério análise de oportunidade

	Eficiência operacional 2.0	Otimização do modelo de negócios
Eficiência operacional 2.0	1	0,33
Otimização do modelo de negócios	3,00	1

Tabela D33 - Importância dos subcritérios no critério tecnologia da informação

	Integração de TI	Gerenciamento de segurança de TI
Integração de TI	1	2
Gerenciamento de segurança de TI	0,50	1

Tabela D34 - Importância dos subcritérios no critério novas interfaces e dados

	Novo gerenciamento de PI	Análise e gerenciamento de dados	Aplicações baseadas em nuvens
Novo gerenciamento de PI	1	1	5
Análise e gerenciamento de dados	1	1	5
Aplicações baseadas em nuvens	0,2	0,2	1

Tabela D35 - Importância dos subcritérios no critério gestão integrada e inteligente

	Cadeia de suprimentos inteligente	Logística inteligente	Gerenciamento do ciclo de vida
Cadeia de suprimentos inteligente	1	1	1
Logística inteligente	1	1	1
Gerenciamento do ciclo de vida	1	1	1

Tabela D36 - Importância dos subcritérios no critério mudança e aprendizagem

	Negócio corporativo	Aprendizagem organizacional
Negócio corporativo	1	1
Aprendizagem organizacional	1	1

As Tabelas D37 a D42 apresentam as comparações fornecidas pelo especialista 7

Tabela D37 - Importância dos critérios

	Análise de oportunidade	Tecnologia da informação	Novas interfaces e dados	Gestão integrada e inteligente	Mudança e aprendizagem
Análise de oportunidade	1	5	4	4	3
Tecnologia da informação	0,20	1	2	3	2
Novas interfaces e dados	0,25	0,50	1	2	2
Gestão integrada e inteligente	0,25	0,33	0,50	1	2
Mudança e aprendizagem	0,33	0,50	0,50	0,50	1

Tabela D38- Importância dos subcritérios no critério análise de oportunidade

	Eficiência operacional 2.0	Otimização do modelo de negócios
Eficiência operacional 2.0	1	5
Otimização do modelo de negócios	0,20	1

Tabela D39 - Importância dos subcritérios no critério tecnologia da informação

	Integração de TI	Gerenciamento de segurança de TI
Integração de TI	1	5
Gerenciamento de segurança de TI	0,20	1

Tabela D40 - Importância dos subcritérios no critério novas interfaces e dados

	Novo gerenciamento de PI	Análise e gerenciamento de dados	Aplicações baseadas em nuvens
Novo gerenciamento de PI	1	2	3
Análise e gerenciamento de dados	0,5	1	3
Aplicações baseadas em nuvens	0,33333333	0,33333333	1

Tabela D41 - Importância dos subcritérios no critério gestão integrada e inteligente

	Cadeia de suprimentos inteligente	Logística inteligente	Gerenciamento do ciclo de vida
Cadeia de suprimentos inteligente	1	2	4
Logística inteligente	0,5	1	4
Gerenciamento do ciclo de vida	0,25	0,25	1

Tabela D42 - Importância dos subcritérios no critério mudança e aprendizagem

	Negócio corporativo	Aprendizagem organizacional
Negócio corporativo	1	5
Aprendizagem organizacional	0,2	1

APÊNDICE E - Roteiro da entrevista feita com os especialistas para avaliar como os requisitos da indústria 4.0 são desenvolvidos nas empresas.

Seu nível na empresa:

Direção  Gerencial  Técnico  Operacional  Outros: \_\_\_\_\_

Qual é a sua experiência com desenvolvimento de *software* no contexto da indústria 4.0?

Acima de 7 anos  De 5 a 7 anos  De 3 a 5 anos  De 1 a 3 anos  Menos de 1 ano

Qual seu nível de aplicação em suas atividades profissionais com os conceitos da Indústria 4.0?

Muito baixo  Baixo  Médio  Alto  Muito alto

	A empresa utiliza/utilizou?	Se não, porque?/ Se sim, como?
<b>Análise de oportunidade</b>		
Eficiência operacional 2.0		
Otimização do modelo de negócios		
<b>Tecnologia da informação</b>		
Integração de TI		
Gerenciamento de segurança de TI		
<b>Novas interfaces e dados</b>		
Novo gerenciamento de PI		
Análise e gerenciamento de dados		
Aplicações baseadas em nuvens		
<b>Gestão integrada e inteligente</b>		
Cadeia de suprimentos inteligente		
Logística inteligente		
Gerenciamento do ciclo de vida		
<b>Mudança e aprendizagem</b>		
Negócio corporativo		
Aprendizagem organizacional		



APÊNDICE F - Resultados da pesquisa em formato de artigos e seus status quanto publicações.

Quadro F1. Artigos publicados em periódicos internacionais

<b>Artigo</b>	<b>Periódico</b>
Risk Management in Software Development Projects: Systematic Review of the State of the Art Literature	International Journal of Open Source Software and Processes
Overview on the technology roadmapping (TRM) literature: gaps and perspectives	Technology Analysis & Strategic Management
Strategic systematic for software development in Industry 4.0	Strategic Change: Briefings in Entrepreneurial Finance

Quadro F2. Artigos em revisão em periódicos internacionais

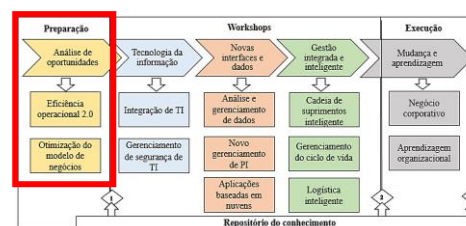
<b>Artigo</b>	<b>Periódico</b>
Analysis of risk as opportunity in the management of software projects	Information and Software Technology
Identification of general strategic requirements for the software development in the industry 4.0	Mechanics & Industry
Technology roadmapping for software development in industry 4.0. A study of Brazilian companies.	Information & Management

Quadro F3. Artigos publicados em anais de congressos

<b>Artigo</b>	<b>Congresso</b>
Mapeamento tecnológico para o desenvolvimento de software na indústria 4.0	III Seminário da Indústria 4.0 - UNICAMP

APÊNDICE G - Guia de implementação dos requisitos gerais para as empresas, contendo as abordagens e as ferramentas.

## ETAPA 1 – Preparação



Nessa etapa deve ser realizado a análise da eficiência operacional e da otimização de modelos de negócios. A análise se dá por meio de discussões entre a equipe, formada pelos gestores e desenvolvedores de *software*. Deve ser analisado a atual situação da empresa perante os dois requisitos e o que deve ocorrer de ações para a implantação ou desenvolvimento desses requisitos na organização. As discussões devem ser pautadas nos riscos, desafios, lacunas, vantagens e tendências. Todos esses elementos estão elencados no Quadro 13 e devem ser utilizados.

### Passo 1 – Eficiência Operacional:

Para o desenvolvimento ou alcance futuro da eficiência operacional, que neste contexto significa identificar a capacidade da organização fornecer produtos de maneira mais econômica e integrada, sem que isso prejudique o valor oferecido e pago pelos clientes, tem-se as seguintes ações (Quadro G1).

Quadro G1 – Ações e resultados esperados da eficiência operacional

Ações	Resultados esperados
Mapear os processos organizacionais	Identificar falhas e propor alternativas alternativas para eliminá-las por meio de automações via <i>software</i> no contexto da indústria 4.0
Analisar o planejamento operacional	Identificar fornecedores alinhados com a empresa, atualizar equipamentos, controlar estoque e dados
Alinhar e conectar os funcionários operacionais a visão e missão da empresa	Funcionários motivados, compartilhando resultados por meio de incentivos
Obter informações contábeis e financeiras a cerca dos produtos	Identificar, para seus produtos, a margem de contribuição, a projeção do ponto de equilíbrio, a concorrência e as tendências do mercado
Controlar o orçamento empresarial	Obter eficiência e racionalização dos recursos financeiros disponíveis
Gestão de riscos e de oportunidades	Incorporação de medidas proativas que permitam atingir ou superar os objetivos organizacionais explícitos e implícitos

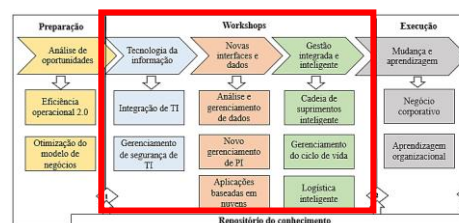
### Passo 2 – Otimização do Modelo de Negócio:

Para o desenvolvimento de um modelo de negócios otimizado que considera as inovações tecnológicas é preciso analisar e desenvolver algumas etapas:

Quadro G2 – Ações e resultados esperados da otimização do modelo de negócios

<b>Ações</b>	<b>Resultados esperados</b>
Automação de processos	Utilizar a tecnologia e a integração de sistemas e dados para aprimorar o controle e o andamento do fluxo de trabalho.
Simplificação de estrutura organizacional	Tornar a estrutura enxuta, apenas com os processos que sejam necessários e relevantes.
Adoção de novas tecnologias	Desenvolvimento de alianças para a inovação.
Melhoria contínua de processos e práticas	Gera oportunidades para melhorias no processo de trabalho e redução de desperdício.

## ETAPA 2 – Workshops



Nessa etapa deve ser realizado a análise da tecnologia da informação, novas interfaces e dados e gestão integrada e inteligente. Sendo os passos para a efetivação das políticas da indústria 4.0. A análise se dá por meio de discussões entre a equipe, formada pelos gestores e desenvolvedores de *software*. Deve ser analisado a atual situação da empresa perante o conjunto de requisitos e o que deve ocorrer de ações para a implantação ou desenvolvimento desses requisitos na organização. As discussões devem ser pautadas nos riscos, desafios, lacunas, vantagens e tendências. Todos esses elementos estão elencados nos Quadros 14, 15 e 16 e devem ser utilizados.

### Passo 1 – Integração de TI:

Para o desenvolvimento ou alcance futuro da integração de TI, que nesse contexto significa a integração dos diversos sistemas distintos da organização, de forma a tornar o TI estratégico. Tem-se as seguintes ações:

Quadro G3 – Ações e resultados esperados da integração de TI

<b>Ações</b>	<b>Resultados esperados</b>
Implementação e upgrade de ERPs	Sistema de gestão que permite acesso fácil, integrado e confiável aos dados de uma empresa e permite diagnósticos aprofundados
Expansão do uso de <i>Business Intelligence</i>	Obtenção de mais informação dos dados coletados dos equipamentos e capacitação de uma maior inteligência de fabricação
Desenvolver a arquitetura de TI	Desenvolvimento de um desenho que descreva a arquitetura das soluções sistêmicas.
Desenvolver o mapeamento do fluxo de valor	Redefinição dos fluxos de trabalho por meio do <i>Lean</i>
Integração e alinhamento dos sistemas	Integração dos sistemas legados e internos com os aplicativos e plataformas mais recentes.
Aprimoramento dos relatórios de conformidade	Melhorias no sistemas de controle de qualidade e diminuição do tempo gasto na preparação das auditorias.

## Passo 2 - Gerenciamento de segurança de TI:

Para o desenvolvimento ou alcance futuro do gerenciamento de segurança de TI, que nesse contexto é proteção de sistemas informatizados, cuidando da prevenção do uso não autorizado, alterações ou acesso a dados eletrônicos. Tem-se as ações:

Quadro G4 – Ações e resultados esperados do gerenciamento de segurança de TI

<b>Ações</b>	<b>Resultados esperados</b>
Produção e revisão das políticas gerais de segurança da informação e o conjunto de políticas de apoio associadas	Estabelecimento dos acordos de nível de serviço, acordos de nível operacional e os contratos de apoio.
Implementação e comunicação das políticas de segurança	Classificação e gerenciamento de todos os ativos de informação e suas respectivas documentações; controle dos direitos de acesso; procedimentos para resolução dos incidentes de segurança.
Monitoramento e gerenciamento de todos os incidentes que possam causar algum dano à segurança	Análise dos relatórios referentes ao volume e impacto dos incidentes de segurança; realização de auditorias internas e externas e testes de segurança.
Criação de um modelo ( <i>framework</i> ) de segurança	Alocação de responsabilidades.

## Passo 3 - Análise e gerenciamento de dados:

Para o desenvolvimento ou alcance futuro da análise e gerenciamento de dados, que nesse contexto é o gerenciamento do banco de dados, de modo a se evitar perda de informações e melhorar o desempenho. Tem-se as ações:

Quadro G5 – Ações e resultados esperados da análise e gerenciamento de dados

<b>Ações</b>	<b>Resultados esperados</b>
Realização de backups periodicamente	O adequado é realizar <i>backups</i> diários, ao final de cada jornada de trabalho, para controle da imensa quantidades de dados gerados
Gerenciar os dados na nuvem	Com as informações sincronizadas e acessíveis praticamente de modo instantâneo, agiliza-se o fluxo de atividades, otimizando o tempo.
Contratação de uma empresa especializada para um gerenciamento de dados seguro e eficiente	contratar uma Consultoria de TI pode ser uma solução bastante viável.

## Passo 4 - Novo gerenciamento de propriedade intelectual:

Para o desenvolvimento ou alcance futuro do novo gerenciamento de propriedade intelectual, que nesse contexto é a gestão das novas formas de propriedade intelectual na indústria 4.0. Tem-se as ações:

Quadro G6 – Ações e resultados esperados do novo gerenciamento de propriedade intelectual

<b>Ações</b>	<b>Resultados esperados</b>
Proteção dos ativos intelectuais	Proteção dos métodos de fazer negócio, bancos de dados, estudos de mercado, embalagens, campanhas publicitárias, <i>slogans</i> , etc.
Conhecimento do emaranhado de leis e tratados internacionais	As leis e tratados internacionais regem as oportunidades e o controle de marcas e patentes.
Conhecimento dos ativos intelectuais da empresa	Com os ativos intelectuais desenvolvidos, pode-se entender melhor e proteger todos os dados.
Proteção dos processos de fabricação e dos <i>software</i> desenvolvidos internamente.	Proteção dos dados relevantes para os <i>software</i> desenvolvidos.

### **Passo 5 - Aplicações baseadas em nuvem:**

Para o desenvolvimento ou alcance futuro de aplicações baseadas em nuvem, que nesse contexto é a utilização de uma base de dados em servidor externo. Nem todas as nuvens são iguais e não há um tipo de computação em nuvem que seja ideal para todas as empresas. Vários modelos, tipos e serviços diferentes evoluíram para ajudar a oferecer a solução certa para cada necessidade. Deve-se determinar o tipo de implantação de nuvem ou a arquitetura de computação em nuvem, no qual os serviços de nuvem serão implementados. Há três maneiras diferentes de implantar serviços de nuvem: em uma nuvem pública, nuvem privada ou nuvem híbrida.

Quadro G7 – Tipos de aplicação baseadas em nuvem

<b>Nuvens</b>	<b>Características</b>
Pública	Elas pertencem a um provedor de serviço de nuvem terceirizado e são administradas por ele, que fornece recursos de computação, tais como servidores e armazenamento pela internet.
Privada	Se refere aos recursos de computação em nuvem usados exclusivamente por uma única organização. Ela pode estar localizada fisicamente no <i>datacenter</i> local da empresa. Algumas empresas também pagam provedores de serviços terceirizados para hospedar sua nuvem privada.
Híbrida	Combinação entre nuvens públicas e privadas ligadas por uma tecnologia que permite que dados e aplicativos sejam compartilhados entre elas. Oferece à empresa maior flexibilidade, mais opções de implantação e ajuda a otimizar sua infraestrutura, segurança e conformidade existentes.

### **Passo 6 - Cadeia de suprimentos inteligente:**

Para o desenvolvimento ou alcance futuro de cadeia de suprimentos inteligente, que nesse contexto é toda a cadeia de suprimentos da organização se desenvolvendo de forma integrada, inteligente e automatizada. Tem-se as ações:

Quadro G8 – Ações e resultados esperados de cadeia de suprimentos inteligente

<b>Ações</b>	<b>Resultados esperados</b>
Rastreamento de ponta a ponta	Com processos informatizados, inteligência artificial, IoT e <i>Machine Learning</i> , gestores têm um controle muito mais amplo da cadeia de suprimentos.
Automatização de processos	Redução de processos manuais, lentos e burocráticos e da adoção de soluções automatizadas.
Acompanhamento da qualidade dos produtos	A tecnologia ajuda a indústria a controlar melhor as suas linhas de produção e remover gargalos e riscos, podendo assim entregar produtos mais competitivos.
Previsibilidade de manutenção	uma grande quantidade de sensores, equipamentos conectados e sistemas integrados é essencial para que a indústria consiga efetivamente prever a manutenção da sua cadeia de suprimentos.
Georastreabilidade	Inspeção

### **Passo 7 - Gerenciamento do ciclo de vida**

Para o desenvolvimento ou alcance futuro do gerenciamento do ciclo de vida, que é a gestão de todo o ciclo de vida do produto e/ou serviço tecnológico, tem-se as ações:

Quadro G9 – Ações e resultados esperados do gerenciamento do ciclo de vida

<b>Ações</b>	<b>Resultados esperados</b>
Controle de dados de produto através de controle de versões e <i>releases</i> .	Controle de troca de dados entre a empresa e seus fornecedores e clientes
Controle de mudança de engenharia	Utilização do SAP.
Utilização de ferramentas de controle	Utilização do Matrix e Enovia da Dassault Systemes e o TeamCenter da Siemens.

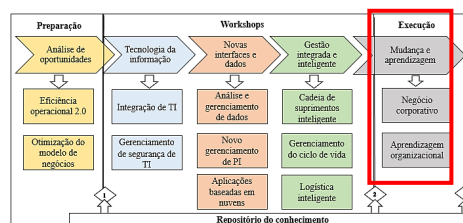
### **Passo 8 – Logística inteligente:**

Para o desenvolvimento ou alcance futuro da logística inteligente, que nesse contexto é toda a logística da organização se desenvolvendo de forma integrada, inteligente e automatizada. Tem-se as ações:

Quadro G10 – Ações e resultados esperados da logística inteligente

<b>Ações</b>	<b>Resultados esperados</b>
Entendimento do conceito de inteligência artificial.	Desenvolvimento das tecnologias
Foco no consumidor e na eficiência dos processos	Manter sempre os processos eficientes e o consumidor fidelizado
Implementação de novas tecnologias	Novas tecnologias desenvolvem e automatizam a logística
Controle de informações relevantes	Dados estratégicos e tecnológicos devem ser mantidos em sigilo quando necessários.

### ETAPA 3 – Execução



Nessa etapa deve ser realizado a análise do negócio corporativo e da aprendizagem organizacional. Sendo os passos finais da sistemática. A análise se dá por meio de discussões entre a equipe, formada pelos gestores e desenvolvedores de *software*. Deve ser analisado a atual situação da empresa perante o conjunto de requisitos e o que deve ocorrer de ações para a implementação de tudo que foi aprendido durante o processo. As discussões devem ser pautadas nos riscos, desafios, lacunas, vantagens e tendências. Todos esses elementos estão elencados no Quadro 17 e devem ser utilizados.

#### Passo 1 - Negócio corporativo

Para o desenvolvimento do negócio corporativo, que nesse contexto é desenvolver um negócio independente, baseado no empreendedorismo e na cooperação com universidades e outras empresas tecnológicas. Tem-se as ações:

Quadro G11 – Ações e resultados esperados do negócio corporativo

Ações	Resultados esperados
Investimento no empreendedorismo corporativo.	Empreendedorismo como parte da cultura organizacional.
Identificação de pontos fortes e fracos da empresa	Trabalho nas soluções que resolvam os problemas
Lançamento de novos produtos e serviços	Adoção de mudanças nos processos.
Entendimento de falhas	Teste de inovações e melhoria contínua
Criação de equipes multidisciplinares e áreas em comunicação com pesquisas e universidades.	Implantação de programas de incentivo, capacitação da equipe para análise de negócios e sugestão de melhoria de processos.

#### Passo 2 – Aprendizagem organizacional:

Para o desenvolvimento da aprendizagem organizacional, que nesse contexto é o alcance de novos conhecimentos de forma variável e constante sob as dinâmicas e demandas empresariais, tem-se as ações:

Quadro G12 – Ações e resultados esperados da aprendizagem organizacional

<b>Ações</b>	<b>Resultados esperados</b>
O aprendizado deve ser incentivado em todas as suas formas.	Aprendizagem por meio de compartilhamento de idéias e informações, exemplo dos líderes, cultura interna e <i>benchmarking</i> .
Monitoramento do redesenho dos processos.	Implantação de novos processos e eliminação de outros.
Acompanhamento dos indicadores de desempenho, de usabilidade e de satisfação.	Monitoramento das mudanças.
Realização de dinâmicas, ensino a distância e presencial, utilização de jogos.	Melhora da comunicação entre a equipe.

Referente as normas e regulamentações sobre a conformidade e qualidade dos produtos, aplicados aos *software*, é importante a consulta as seguintes regras e normatizações:

- Indústria alimentícia e de medicamentos - FDA 21 CFR Part 11
- Indústria aeronáutica - ISO/IEC 29100: 2011
- Proteção de dados e tecnologia da informação - ISO/IEC 27000:2018
- Maioria das áreas e empresas de tecnologia: CMMI e MPS-BR (ISO/IEC/IEEE 12207 e ISO/IEC15504)
- Qualidade de produto de *software*: ISO/IEC 25000:2014

O repositório do conhecimento deve ser trabalhado como lições aprendidas e banco de boas práticas. A sistemática utiliza das discussões e das abordagens de aprendizagem organizacional e gestão da mudança, para entender os processos, aplicá-los, desenvolvê-los e aprender com eles. A sistemática deve estar constantemente em revisão, mesmo após o término do processo, para que todas as informações reunidas sejam refletidas nos negócios estratégicos.

É importante dizer que todas as ações elencadas acima são sugestões de melhores práticas, porém sua utilização cabe ao julgamento de cada gestor de acordo com os objetivos e metas estratégicas da organização.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 31000** - Gestão de risco-princípios e diretrizes. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ACETO, G.; PERSICO, V.; PESCAPÉ, A. A Survey on Information and Communication Technologies for Industry 4.0: State-of-the-Art, Taxonomies, Perspectives, and Challenges. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, 21(4), 3467-3501, 2019.
- AGUIAR, D. C.; SALOMON, V. A. P. Avaliação da prevenção de falhas em processos utilizando métodos de tomada de decisão. **Revista Produção**, 17 (3) 502-519, 2007
- AHMI, A.; ELBARDAN, H.; ALI, R. H. R. M. Bibliometric Analysis of Published Literature on Industry 4.0. In 2019 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC) (pp. 1-6). **IEEE**. 2019.
- AKŞIT, M. The role of computer science and software technology in organizing universities for industry 4.0 and beyond. In 2018 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS) (pp. 5-11). **IEEE**, 2018.
- ALBERTIN, A. L.; MOURA R. M. Benefícios do uso de tecnologia de informação para o desempenho empresarial. **Rev. Adm. Pública**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 2, p. 275-302, Apr. 2002.
- ALBRECHT, K.; ANDERL, R. Applying actual development progress into education. **ASME 2014** 12th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis. American Society of Mechanical Engineers, 2014.
- ALVARENGA, A. D.; SALGADO, E. G.; MENDES, G. H. S. Ranking criteria for selection of certification bodies for ISO 9001 through the Analytic Hierarchy Process (AHP). **International Journal of Quality & Reliability Management**, 35 (7) 1321-1342, 2018.
- ÁLVAREZ, Y.; FRANSSEN, J.; ÁLVAREZ NARCIANDI, G.; PAGNOZZI, J.; GONZÁLEZ-PINTO ARRILLAGA, I.; LAS-HERAS ANDRÉS, F. RFID technology for management and tracking: E-health applications. **Sensors**, 18(8), 2663, 2018.
- ANALYTICS, C. **The Clarivate Analytics Impact Factor**. Journal Citation Reports, 2018. Disponível em: <<https://clarivate.com/blog/science-research-connect/the-2018-jcr-release-is-here/>> Acesso em: 12 fev 2018
- APPOLINÁRIO, F. **Metodologia da ciência** - filosofia e prática da pesquisa. São Paulo: Editora Pioneira Thomson Learning, 2006.

- ARAKERI, M. P. Computer vision based fruit grading system for quality evaluation of tomato in agriculture industry. **Procedia Computer Science**, 79, 426-433, 2016.
- ASAD, M. M.; HASSAN, R. B.; SHERWANI, F.; AAMIR, M.; SOOMRO, Q. M.; SOHU, S. Design and development of a novel knowledge-based decision support system for industrial safety management at drilling process. **Journal of Engineering, Design and Technology**, 2019.
- BALLARINO, A.; BRONDI, C.; BRUSAFERRI, A.; CHIZZOLI, G. The CPS and LCA Modelling: an integrated approach in the environmental sustainability perspective. **Working Conference on Virtual Enterprises**, 1 (543-552), 2017.
- BARLOW, A. J.; JONES, R. T.; MCDONALD, A. J.; PIGRAM, P. J. XPSSurfA: An open collaborative XPS data repository using the CMSShub platform. **Surface and Interface Analysis**, 50(5), 527-540, 2018.
- BATCHKOVA, I.; IVANOVA, T. Model-driven development of agent-based cyber-physical systems. **IFAC-PapersOnLine**, 52(25), 258-263, 2019.
- BAUERDICK, C.; HELFERT, J.; MENZ, B.; ABELE, E. A common software framework for energy data based monitoring and controlling for machine power peak reduction and workpiece quality improvements. **Procedia CIRP**, 61, 359-364, 2017.
- BECK, K.; BEEDLE, M.; VAN BENNEKUM, A.; COCKBURN, A.; CUNNINGHAM, W.; FOWLER, M.; KERN, J. **The agile manifesto**. 2001.
- BENABDELLAH, A. C.; BENGHABRIT, A.; BOUHADDOU, I. Complexity drivers in engineering design. **Journal of Engineering, Design and Technology**, 2020.
- BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Modelling and Simulation: operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241-264, 2002.
- BHAMARE, D.; ZOLANVARI, M.; ERBAD, A.; JAIN, R.; KHAN, K.; MESKIN, N. Cybersecurity for industrial control systems: A survey. **Computers & Security**, 89, 101677. 2020.
- BI, X.; LI, J.; LI, P.; ZHOU, J. Brief discussions on German industry 4.0, Chinese manufacture 2025 and intelligent metallurgy. **School of Materials and Metallurgy**, Wuhan University of Science and Technology, 2016.
- BITZER, M.; VIELHABER, M.; KASPAR, J. Product Lifecycle Management-How to adapt PLM to support changing product development processes in industry? **Proceedings of NordDesign**, (1) 85-1, 2016.

- BLANCO, N. T.; FERNÁNDEZ-CARAMÉS, M.; FRAGA-LAMAS, P.; VILAR-MONTESINOS, M.A. A practical evaluation of commercial industrial augmented reality systems in an industry 4.0 shipyard. **IEEE Access**, (6) 8201-8218, 2018.
- BLOEM, S. L.; VASCONCELLOS, E.; GUEDES, L. V.; GUEDES, L. F. A.; COSTA, R. M. Technology roadmapping: A methodological proposition to refine Delphi results. **Technological Forecasting and Social Change**, 126, 194-206. 2018.
- BOLOGA, R.; LUPU, A.; BOJA, C.; GEORGESCU, T. Sustaining Employability: a process for introducing cloud computing, big data, social networks, mobile programming and cybersecurity academic curricula. **Sustainability**, 9, 2235, 2017.
- BONAVOLONTÀ, F.; D'ARCO, M.; LICCARDO, A.; TAMBURIS, O. Remote laboratory design and implementation as a measurement and automation experiential learning opportunity. **IEEE Instrumentation & Measurement Magazine**, 22(6), 62-67, 2019.
- BOTTANI, E.; CAMMARDELLA, A.; MURINO, T.; VESPOLI, S. From the cyber-physical system to the digital twin: the process development for behaviour modelling of a cyber guided vehicle in m2m logic. XXII Summer School "Francesco Turco"- **Industrial Systems Engineering**, 1-7, 2017.
- BOUGOUFFA, S.; MEÛZMER, K.; CHA, S.; TRUNZER, E.; VOGEL-HEUSER, B. Industry 4.0 interface for dynamic reconfiguration of an open lab size automated production system to allow remote community experiments. Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). **IEEE International Conference**, 2058-2062, 2017.
- BOUSDEKIS, A.; LEPENIOTI, K.; NTALAPERAS, D.; VERGETI, D.; APOSTOLOU, D.; BOURSINOS, V. A RAMI 4.0 View of Predictive Maintenance: Software Architecture, Platform and Case Study in Steel Industry. In International Conference on Advanced Information Systems Engineering (pp. 95-106). **Springer**, Cham, 2019.
- BOZBURA, F. T.; BESKESE, A.; KAHRAMAN, C. Prioritization of human capital measurement indicators using fuzzy AHP. **Expert Systems with Applications**, 32 (2) 1100-1112, 2007.
- BRETTEL, M.; FRIEDERICHSEN, N.; KELLER, M.; ROSENBERG, M. How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective. **International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering**, 8(1), 37-44, 2014.
- BUCHINGER, D.; CAVALCANTI, G. A.; HOUNSELL, M. S. Academic search mechanisms: A quantitative analysis. **Brazilian Journal of Applied Computation**, 6(1) 108-120, 2014.

- BULLINGER, H. J.; NEUHUTTLER, J.; NAGELE, R.; WOYKE, I. Collaborative development of business models in smart service ecosystems. **Management of Engineering and Technology** (PICMET), Portland International Conference 1-9, 2017.
- BUTTING, A.; GREIFENBERG, T.; RUMPE, B.; WORTMANN, A. On the need for artifact models in model-driven systems engineering projects. **Federation of International Conferences on Software Technologies: Applications and Foundation**, 146-153, 2018.
- CALANTONE, R. J.; BENEDETTO, A. D.; SCHMIDT, J. B. Using the analytic hierarchy process in new product screening. **Journal of Product Innovation Management**, 16 (1) 65-76, 1999.
- CAMPOS, T.; CARVALHO, M. S.; OLIVEIRA, J. A.; SILVA, P.V.; MACHADO, T. Using discrete simulation to support internal logistics process design. **CIE47 Proceedings**, Lisbon, October, 11-13, 2017.
- CARMO, D.K.S.; MARINS, F. A. S.; SALOMON, V. A.; MELLO, C. H. P. On the aggregation of individual priorities in incomplete hierarchies. **In Proceedings of the International symposium on the Analytic Hierarchy Process**, 2013.
- CARUSO, L. Digital innovation and the fourth industrial revolution: epochal social changes? **Ai & Society**, 33(3), 379-392, 2018.
- CASTELLANOS, E. X.; GARCIA, C. A.; ROSERO, C.; SANCHEZ, C.; GARCIA, M. V. Enabling an Automation Architecture of CPPs based on UML combined with IEC-61499. **Control, Automation and Systems** (ICCAS), 17th International Conference, 471-476, 2017.
- CAVALCANTE, C. G. S.; DE ALMEIDA, T. D. The benefits of Industry 4.0 for companies' management. **Journal of Lean Systems**, 3(1), 125-151, 2018.
- CERQUEIRA, C. S.; AMBROSIO, A. M.; KIRNER, C. Tangible user interface vocabulary to physically enhance space systems engineering tools. **Concurrent Engineering**, 27(4), 305-313, 2019.
- CHEMINOD, M.; DURANTE, L.; SENO, L.; VALENZA, F.; VALENZANO, A.; ZUNINO, C. Leveraging SDN to improve security in industrial networks. **Factory Communication Systems** (WFCS), IEEE 13th International Workshop 1-7, 2017.
- CHEN, H.H.; LEE, A.H.I.; TONG, Y. Analysis of new product mix selection at TFT-LCD technological conglomerate network under uncertainty. **Technovation**, 26 1210-1221, 2006.
- CHEN, J. Y.; TAI, K.C.; CHEN, G.C. Application of programmable logic controller to build-up an intelligent industry 4.0 platform. **Procedia CIRP**, 63, 150-155, 2017.

- CHENG, H.; ZENG, P.; XUE, L.; SHI, Z.; WANG, P.; YU, H. Manufacturing ontology development based on industry 4.0 demonstration production line. **Trustworthy Systems and their Applications** (TSA), Third International Conference 42-47, 2016.
- CHESBROUGH, H. Inovação aberta: como criar e lucrar com a tecnologia. Porto Alegre. 2012
- CHESBROUGH, H.; VANHAVERBEKE, W.; BAKICI, T.; LOPEZ-VEGA, H. Open innovation and public policy in Europe. 2011
- CHIRICI, L.; WANG, K. Beyond agile methodologies: a conceptual analysis for software process pipeline in the industry 4.0. Proceedings of the 6th **International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation**, 2016.
- CHRISTOULAKIS, F.; THRAMBOULIDIS, K. IoT-based integration of IEC 61131 industrial automation systems: The case of UML4IoT. **Industrial Electronics** (ISIE), IEEE 25th International Symposium 322-327, 2016.
- CHUNG, C. A. **Simulation modeling handbook: a practical approach**. Florida, CRC Press, 574p, 2004.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria & aplicações**. São Paulo: Ed. Dos autores, 2010.
- CNI - Confederação Nacional da Indústria. **Desafios para a indústria 4.0 no Brasil** / Confederação Nacional da Indústria. - Brasília: CNI, 34 p.: il, 2016.
- CODE OF FEDERAL REGULATIONS. **PART, C**. 2013.
- COITO, T.; VIEGAS, J. L.; MARTINS, M. S.; CUNHA, M. M.; FIGUEIREDO, J.; VIEIRA, S. M.; SOUSA, J. M. A Novel Framework for Intelligent Automation. **IFAC-PapersOnLine**, 52(13), 1825-1830, 2019.
- COTTELEER, M.; HOLDOWSKY, J.; MAHTO, M. The 3D opportunity primer. The basics of additive manufacturing. **Deloitte University Press**, 2014.
- CRESWELL, J. W. Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto. Porto Alegre: **Artmed**, 2007.
- CROSS, S. E.; FELIS, T. A systems engineering approach to systematic innovation in an industry-university collaboration. **European Technology and Engineering Management Summit** (E-TEMS), IEEE 1-7, 2016.
- CRUZ, S. L. A.; VOGEL-HEUSER, B. Comparison of agent oriented software methodologies to apply in cyber physical production systems. **Industrial Informatics** (INDIN), IEEE 15th International Conference 65-71, 2017.
- CRUZ, S.; LUIS, A.; RYASHENTSEVA, D.; LÜDER, A.; VOGEL-HEUSER, B. Cyber-Physical Production Systems architecture based on multi-agent's design pattern--comparison of

selected approaches mapping four agent patterns. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 170 (170), 30, 2019.

DABADE, U. A.; KARIDKAR, S.S. Analysis of response variables in WEDM of Inconel 718 using Taguchi technique. **Procedia CIRP**, 41 886-891, 2016.

DALLASEGA, P.; FROSOLINI, E.; MATT, D.T. An approach supporting real-time project management in plant building and the construction industry. **Proceedings of the XXI Summer School Francesco Turco**, Naples, Italy, 13-15, 2016.

DANIELIS, P.; PUTTNIES, H.; SCHWEISSGUTH, E.; TIMMERMANN, D. Real-Time Capable Internet Technologies for Wired Communication in the Industrial IoT-a Survey. In 2018 IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA) (Vol. 1, pp. 266-273). **IEEE**, 2018.

DANG, K.; TROTSKII, I. Architecture For Automation System Metrics Collection, Visualization and Data Engineering–HAMK Sheet Metal Center Building Automation Case Study. **Open Engineering**, 9(1), 561-570, 2019.

DANUBIANU, M.; TEODORESCU, C.; CORNEANU, I. Internet of Things and the Environment. **Present Environment and Sustainable Development**, 13(1), 181-190, 2019.

DÉCHAMPS, P.; NIELS, G. The one billion euro question for Intel: Moore's Law or Murphy's Law? **Journal of European Competition Law & Practice**, 9 (2), 124-130, 2018.

DENKENA, B.; WINTER, F. Simulation-based planning of production capacity through integrative roadmapping in the wind turbine industry. **Procedia CIRP**, 33 105-110, 2015.

D'EMILIA, G.; DI ILIO, A.; GASPARI, A.; NATALE, E.; PERILLI, R.; STAMOPOULOS, A. G. The role of measurement and simulation in additive manufacturing within the frame of Industry 4.0. In 2019 II Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT (MetroInd4.0&IoT) (pp. 382-387). **IEEE**, 2019.

DIEBER, B.; BREILING, B.; TAURER, S.; KACIANKA, S.; RASS, S.; SCHARTNER, P. Security for the robot operating system. **Robot. Auton. Syst**, 98 192-203, 2018.

DIEZ-OLIVAN, A.; DEL SER, J.; GALAR, D.; SIERRA, B. Data fusion and machine learning for industrial prognosis: Trends and perspectives towards Industry 4.0. **Information Fusion**, 50 (92), 111, 2019.

DING, JR.; LIN, S. Performance improvement of kinect software development kit-constructed speech recognition using a client-server sensor fusion strategy for smart human-computer interface control applications. **IEEE Access**, 5 4154-4162, 2017.

DISTERER, G. ISO/IEC 27000, 27001 and 27002 for information security management. 2013

- DOW, C. R. Telematics and advanced transportation services. **International Conference on Advances in Information and Communication Technology**, 5-5, 2017.
- DROZD, O. **Privacy pattern catalogue: A tool for integrating privacy principles of ISO/IEC 29100 into the software development process**. In IFIP International Summer School on Privacy and Identity Management (pp. 129-140). Springer, Cham. 2015
- ELLWEIN, C.; ELSER, A.; RIEDEL, O. Production planning and control systems—a new software architecture Connectivity in target. **Procedia CIRP**, 79, 361-366, 2019.
- EROL, S.; SIHN, W. Intelligent production planning and control in the cloud - towards a scalable software architecture. **Procedia CIRP**, 62 571-576, 2017.
- FELLER, N.; AMANN, A.; MÜLLER, U.; SCHIFFMANN, M.; KURSCHEID, O.; GORZELLIK, M. Application of a simulation-based software tool for the prospective design of IT work places. **Advances in Neuroergonomics and Cognitive Engineering**, 87-96, 2017.
- FENWICK, D.; DAIM, T. U.; GERDSRI, N. Value driven Technology Road Mapping (VTRM) process integrating decision making and marketing tools: case of internet security technologies. **Technological Forecasting and Social Change**, 76(8), 1055-1077, 2009.
- FERRARI, P.; FLAMMINI, A.; SISINNI, E.; RINALDI, S.; BRANDÃO, D.; ROCHA, M. S. Delay estimation of Industrial IoT applications based on messaging protocols. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, 67(9), 2188-2199, 2018.
- FISCHER, H.; SENFT, B. Human-centered software engineering as a chance to ensure software quality within the digitization of human workflows. **Human-Centered and Error-Resilient Systems Development**, 30-41, 2016.
- FORMAN, E.; PENIWATI, K. Aggregating individual judgments and priorities with the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, 108 (1) 165-169, 1998.
- FRAGA, M. A. F.; FREITAS, M. M. B. C.; SOUZA, G. P. L. Logística 4.0: Conceitos e aplicabilidade - uma pesquisa-ação em uma empresa de tecnologia para o mercado automobilístico. **Caderno PAIC**, 17(1), 111-117, 2016.
- FRAZZON, E. M.; RODRIGUEZ, C. M. T.; PEREIRA, M. M.; PIRES, M. C.; UHLMANN, I. Towards Supply Chain Management 4.0. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, 16(2), 180-191, 2019.
- FREDDI, D. Digitalisation and employment in manufacturing. **Ai & Society**, 33(3), 393-403, 2018.
- FRICKE, A. Industrie 4.0 with MS-Excel?. **Chemical Engineering**, 43, 2015.

- FURTADO, O. **Um estudo com professores da rede pública de ensino, sobre a utilização da modelagem computacional semiquantitativa em tópicos do currículo escolar, para a construção de uma proposta de educação ambiental.** Dissertação (Mestrado Educação Ambiental) - Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande. 250, 2003
- GALINDO, P. L. Development of a customized interface for a robotic welding application at Navantia Shipbuilding Company. **Iberian Robotics conference.** Springer, Cham, 2018.
- GANZARAIN, J. O.; LEÓN, A.; IGARTUA, J.I. Barnelkar: a collaborative university-industry learning experience to boost diversification strategy in SMEs. **Procedia Computer Science**, 100 1191-1199, 2016.
- GERDSRI, N.; KOCAOGLU, D.F. Applying the analytic hierarchy process (AHP) to build a strategic framework for technology roadmapping. **Math. Comput. Model.** 46 (7) 1071-1080, 2007.
- GHAZINOORY, S.; DASTRANJ, N.; SAGHAFI, F.; KULSHRESHTHA, A.; HASANZADEH, A. Technology roadmapping architecture based on technological learning: Case study of social banking in Iran. **Technological Forecasting and Social Change**, 122, 231-242., 2017.
- GIORGIO, A.; ROMERO, M.; ONORI, M.; WANG, L. Human-machine collaboration in virtual reality for adaptive production engineering. **Procedia Manufacturing**, 11 1279-1287, 2017.
- GIOURKA, P.; SANDERS, M. W.; ANGELAKOGLU, K.; PRAMANGIOULIS, D.; NIKOLOPOULOS, N.; RAKOPOULOS, D.; TZOVARAS, D. The smart city business model canvas—A smart city business modeling framework and practical tool. **Energies**, 12(24), 4798. 2019.
- GOGUELIN, S.; COLACO, J.; DHOKIA, V.; SCHAEFER, D. Smart manufacturability analysis for digital product development. **Procedia CIRP**, 60 56-61, 2017.
- GOLDBERG, M.; WEBER, C. **Evaluation of the risk analysis and cost management (RACM) model.** Washington, D.C: Institute for Defense Analysis, (Paper 3338), 1998.
- GOLDIN, E.; FELDMAN, D.; GEORGOULAS, G.; CASTAÑO, M.; NIKOLAKOPOULOS, G. Cloud computing for big data analytics in the Process Control Industry. **25th Mediterranean Conference on Control and Automation**, MED 2017, IEEE, University of Malta, Valletta, Malta, 1373-1378, 2017.
- GONG, L.; ZOU, B.; KAN, Z. Modeling and optimization for automobile mixed assembly line in industry 4.0. **Journal of Control Science and Engineering**, 2019.



- GRIMM, T.; JANBEN, B.; NAVARRO, O.; HÜBNER, M. The value of FPGAs as reconfigurable hardware enabling Cyber-Physical Systems. **Emerging Technologies & Factory Automation (ETF A)**, IEEE 20th Conference 1-8, 2015.
- GUERRERO, J. M.; TERRIZA, J. A. IMMAS an industrial meta-model for automation system using OPC UA. **Elektronika ir Elektrotechnika**, 23(3) 3-11, 2017.
- GUST, P.; MÜLLER, U.; FELLER, N.; SCHIFFMANN, M. Field study on the application of a simulation-based software tool for the strain-based staffing in industrial manufacturing. **Advances in Applied Digital Human Modeling and Simulation**, 3-12, 2017.
- HALL, P.; GU, F.; GUO, J. An integrated architecture for implementing extended producer responsibility in the context of Industry 4.0. **International Journal of Production Research**, 2018.
- HÄMMERLE, F.; NICKEL, P.; DOERING, M.; MERKERT, J.; MÜLLER, M.; CRIPPA, M. R.; MANNWEILER, C. Evaluation of context management architectures: The case of context framework and context broker. **Industrial Technology (ICIT)**, IEEE International Conference 1870-1875, 2015.
- HANIF, M. A.; MARCHISIO, A.; ARIF, T.; HAFIZ, R.; REHMAN, S.; SHAFIQUE, M. X-DNNs: Systematic cross-layer approximations for energy-efficient deep neural networks. **Journal of Low Power Electronics**, 14(4), 520-534, 2018.
- HARKER, P. T. Incomplete pairwise comparisons in the analytic hierarchy process, **Mathematical Modeling**, 9 (11) 837-848, 1987.
- HARKUSHENKO, O. M.; KNIAZIEV, S. I. Analysis of economic and mathematical models of information and communication technology (ict) effect on the production output: does the solow paradox exist?. 2019.
- HARPHAM, Q.; CLEVERLEY, P.; KELLY, D. The FluidEarth 2 implementation of OpenMI 2.0. **J. Hydroinf.**, 16 890-906, 2014.
- HE, Y.; MA, Y. H.; ZHANG, X. R. Digital heritage theory and innovative practice. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences**, 42, 2017.
- HEE L.; LEE, J.; SHVETSOVA, O. A. The Impact of VR Application on Student's Competency Development: A Comparative Study of Regular and VR Engineering Classes with Similar Competency Scopes. **Sustainability**, 11(8), 2221, 2019.
- HEBER, A. Chart by 2020 theres going to be six times more devices connected to the internet than people. **Business Insider Austrália**. 2014. Disponível em: <

<https://www.businessinsider.com.au/chart-by-2020-theresgoing-to-be-six-timesmore-devices-connected-to-the-internet-than-people>> Acesso em: 20 ago 2017.

HEMMATPOUR, M.; GHAZIVAKILI, M.; MONTRUCCHIO, B.; REBAUDENGO, M. DIIG: a distributed industrial IoT gateway. **Computer Software and Applications Conference (COMPSAC)**, IEEE 41st Annual, 1 755-759, 2017.

HERNANDEZ, M.R.; DIAZ, I.; CORBATO, C.H.; BRAVO, R.S.; BERMEJO, J. Process systems lifecycle management using a model based engineering approach. **Computing and Systems Technology Division - Core Programming Area at the 2016 AIChE Annual Meeting** 242-244, 2016.

HERRMANN, P.; BLECH, J. O. Formal model-based development in industrial automation with reactive blocks. **Federation of International Conferences on Software Technologies: Applications and Foundations**, 253-261, 2016.

HESSE, G.; MATTHIES, C.; REISSAUS, B.; UFLACKER, M. A new application benchmark for data stream processing architectures in an enterprise context: doctoral symposium. Proceedings of the 11th ACM, **International Conference on Distributed and Event-based Systems**, 359-362, 2017.

HO, W. Integrated analytic hierarchy process and its applications - a literature review. **European journal of Operational Research**, 186 (1) 211-228, 2008.

HODA, R.; SALLEH, N.; GRUNDY, J. The rise and evolution of agile software development. **IEEE software**, 35(5), 58-63. 2018.

HORTELANO, D.; OLIVARES, T.; RUIZ, M.C.; GARRIDO-HIDALGO, C.; LÓPEZ, V. From sensor networks to internet of things. Bluetooth low energy, a standard for this evolution. **Sensors**, 17(2): 372, 2017.

HSU, Y. G.; TZENG, H.; SHYU, J. Fuzzy multiple criteria selection of government sponsored frontier technology R&D projects. **R&D Management**, 33 (5) 539-551, 2003.

HU, Y.; ZHANG, X.; NGAI, E.; CAI, R.; LIU, M. Software project risk analysis using Bayesian networks with causality constraints. **Decision Support Systems**, Vol.56, pp. 439-449, 2013.

HUANG, C.; CHU, P.; CHIANG, Y. A fuzzy AHP application in governmentsponsored R&D Project selection. **Omega**, 36 (6) 1038-1052, 2008.

IMAN LOGÍSTICA E SUPPLY, Revista. **A nova revolução logística**. 2016. Disponível em: <<https://www.imam.com.br/logistica/noticias/tecnologia-da-informacao/2647-a-nova-revolucao-logistica>> Acesso em: 15 set. 2017.

- INNERBICHLER, J.; GONUL, S.; DAMJANOVIC-BEHRENDT, V.; MANDLER, B.; STROHMEIER, F. Nimble collaborative platform: Microservice architectural approach to federated iot. **Global Internet of Things Summit (GIoTS)**, IEEE 1-6, 2017.
- IWASAKI, S.; TONE, K. A search model with subjective judgments: auditing of incorrect tax declarations. **Omega - International Journal of Management Science**, 26 (2) 249-261, 1998.
- JAVAID, M.; HALEEM, A.; KHAN, S.; LUTHRA, S. Different Flexibilities of 3D Scanners and Their Impact on Distinctive Applications: An Analysis. **International Journal of Business Analytics**, 7(1), 37-53, 2020.
- JOHNSON, S. **Cultura da interface**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 32-33. 2001.
- JOVANOVIĆ, M.; LALIĆ, B.; MAS, A.; MESQUIDA, A.L. The Agile approach in industrial and software engineering project management. **Journal of Applied Engineering Science**, 13(4), 213-216, 2015.
- JUAN-VERDEJO, A.; SURAJBALI, B. XaaS Multi-Cloud marketplace architecture enacting the industry 4.0 concepts. **Doctoral Conference on Computing**, Electrical and Industrial Systems 11-23, 2016.
- KABUGO, J. C.; JÄMSÄ-JOUNELA, S. L.; SCHIEMANN, R.; BINDER, C. Industry 4.0 based process data analytics platform: A waste-to-energy plant case study. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, 115, 105508, 2020.
- KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. **Acatech**, 13-78, 2013.
- KALINOWSKI, M.; SANTOS, G.; REINEHR, S.; MONTONI, M.; ROCHA, A. R.; WEBER, K. C.; TRAVASSOS, G. H. **MPS. BR: promovendo a adoção de boas práticas de engenharia de software pela indústria brasileira**. In XIII Congreso Iberoamericano en "Software Engineering"(CIBSE), Cuenca, Ecuador. sn. 2010.
- KAMBLE, S.; GUNASEKARAN, A.; DHONE, N. C. Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organisational performance in Indian manufacturing companies. **International Journal of Production Research**, 58(5), 1319-1337. 2020.
- KANG, H. Y.; LEE, H. I. Priority mix planning for semiconductor fabrication by fuzzy AHP ranking. **Expert Systems with Applications**, 32 (2) 560-570, 2007.
- KANNAN, S. M.; SURI, K.; CADAVID, J.; BAROSAN, I.; VAN DEN BRAND, M.; ALFEREZ, M.; GERARD, S. Towards industry 4.0: gap analysis between current automotive MES and industry standards using model-based requirement engineering. Software Architecture Workshops (ICSAW), **IEEE International Conference**, 29-35, 2017.

- KEELEY, L. **Ten Types of Innovation**. The discipline of building breakthroughs. John Wiley & Sons; Edição: 1, 2013.
- KENDRICK, T. **Identifying and managing project risk**: essential tools for failure-proofing your project. 1a. ed. New York, NY, USA: Amacom, 2003.
- KHARCHENKO, V.; ILLIASHENKO, O.; BOYARCHUK, A.; SKLYAR, V.; PHILLIPS, C. Emerging curriculum for industry and human applications in Internet of Things. Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), 9th **IEEE International Conference**, 2 918-922, 2017.
- KHO, P. Industry 4.0 and its children: The fourth industrial revolution needs qualification. **Mechatronik**, 121 (3-4) 22-23, 2013.
- KIESEBERG, P.; WEIPPL, E. Security challenges in cyber-physical production systems. **International Conference on Software Quality**, 3-16, 2018.
- KIM, C.; KIM, H.; HAN, S.H.; KIM, C.; KIM, M.K.; PARK, S.H. Developing a technology roadmap for construction R&D through interdisciplinary research efforts. **Autom. Constr.** 18 (3) 330-337, 2009.
- KIMANI, K.; ODUOL, V.; LANGAT, K. Cyber security challenges for IoT-based smart grid networks. **International Journal of Critical Infrastructure Protection**, 25, 36-49. 2019.
- KIPPER, L. M.; FURSTENAU, L. B.; HOPPE, D.; FROZZA, R.; IEPSSEN, S. Scopus scientific mapping production in industry 4.0 (2011–2018): a bibliometric analysis. **International Journal of Production Research**, 1-23, 2019.
- KLINKOV, M.; FEIST, R. The virtual rolling mill-enhancing product development and commissioning. Materials Science Forum, **Trans Tech Publications**, 854 231-236, 2016.
- KLUTH, A.; JÄGUER, J.; SCHATZ, A.; BAUERNHANSL, T. Method for a systematic evaluation of advanced complexity management maturity. **Procedia CIRP**, 19: 69-74, 2014.
- KNECHT, C.; SCHULLER, A.; MICLAUS, A. Manageable and Scalable Manufacturing IT Through an App Based Approach. In International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (pp. 14-26). **Springer**, Cham. 2020.
- KOH, S. Cause-and-Effect Perspective on Software Quality: Application to ISO/IEC 25000 Series SQuaRE's Product Quality Model. **Journal of Information Technology Applications & Management**, 23(3), 71-86. 2016.
- KONIECZEK, B.; RETHFELDT, M.; GOLATOWSKI, F.; TIMMERMANN, D. A Distributed Time Server for the Real-Time Extension of CoAP. Real-Time Distributed Computing (ISORC), **IEEE 19th International Symposium**, 84-91, 2016b.

- KONIECZEK, B.; SKODZIK, J.; DANIELIS, P.; ALTMANN, V.; RETHFELDT, M.; TIMMERMANN, D. HaRTKad: A P2P-based concept for deterministic communication and its limitations. *Computers and Communication (ISCC), IEEE Symposium*, 1157-1162, 2016a.
- KOVAR, J.; MOURALOVA, K.; KSICA, F.; KROUPA, J.; ANDRS, O.; HADAS, Z. Virtual reality in context of Industry 4.0 proposed projects at Brno University of Technology. *Mechatronics-Mechatronika (ME)*, 17th International Conference IEEE 1-7, 2017.
- KOZJEK, D.; VRABIČ, R.; RIHTARŠIČ, B.; LAVRAČ, N.; BUTALA, P. Advancing manufacturing systems with big-data analytics: A conceptual framework. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 33(2), 169-188, 2020.
- KRAVČÍK, M.; ULLRICH, C.; IGEL, C. Supporting awareness and reflection in companies to move towards industry 4.0. Proceedings of the 7th Workshop on Awareness and Reflection in Technology Enhanced Learning (ARTEL). *CEUR*, 2017.
- LAMOUNIER, H. *Atividades básicas ao processo de desenvolvimento de software*. Portal DevMedia, 2014.
- LARSEN, L.; KIM, J.; KUPKE, M.; SCHUSTER, A. Automatic path planning of industrial robots comparing sampling-based and computational intelligence methods. *Procedia Manufacturing*, 11 241-248, 2017.
- LASI, H.; KEMPER, H.G. Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 4. Doi: 10.1007/s12599-014-0334-4, 2014.
- LAUDANTE, E. *Ergonomics and design in industry 4.0*. Challenges for Technology Innovation, Routledge in association with GSE Research. 1611(66) 161-166, 2017.
- LEE, J.; ARDAKANI, H. D.; YANG, S.; BAGHERI, B. Industrial big data analytics and cyber-physical systems for future maintenance & service innovation. *Procedia CIRP*, 38 3-7, 2015.
- LEE, H.; GEUM, Y. Development of the scenario-based technology roadmap considering layer heterogeneity: An approach using CIA and AHP. *Technological Forecasting and Social Change*, 117 12-24, 2017.
- LEE, H.; KIM, C.; CHO, H.; PARK, Y. An ANP - based technology network for identification of core technologies: A case of telecommunication technologies Expert Systems with Applications. *Expert Syst. Appl.* 36 (1) 894-908, 2019.
- LEE, H.; LEE, C.; SEOL, H.; PARK, Y. On the R&D priority setting in technology foresight: a DEA and ANP approach. *Int. J. Innov. Technol. Manag.* 5 (02) 201-219, 2008.
- LEE, J.; KAO, H. A.; YANG, S. Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment. *Procedia CIRP*, 16 3-8, 2014.

- LEE, S.; MOGI, G.; LEE, S.; KIM, J. Prioritizing the weights of hydrogen energy technologies in the sector of the hydrogen economy by using a fuzzy AHP approach. **Int. J. Hydrog. Energy**, 36 (2) 1897-1902, 2011.
- LEHTIRANTA, L. Collaborative risk management processes: a constructive case study. **Engineering Project Organization Journal**, 3(4) 198-212, 2013.
- LENG, J.; RUAN, G.; JIANG, P.; XU, K.; LIU, Q.; ZHOU, X.; LIU, C. Blockchain-empowered sustainable manufacturing and product lifecycle management in industry 4.0: A survey. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 132, 110112. 2020.
- LI, L.; HE, W.; XU, L.; ASH, I.; ANWAR, M.; YUAN, X. Investigating the impact of cybersecurity policy awareness on employees' cybersecurity behavior. **International Journal of Information Management**, 45, 13-24. 2019.
- LI, H. X.; SI, H. Control for intelligent manufacturing: a multiscale challenge. **Engineering**, 3 608-61, 2017.
- LI, L. China's manufacturing locus in 2025: With a comparison of "Made-in-China 2025" and "Industry 4.0". **Technological Forecasting and Social Change**, 135 66-74, 2018.
- LIMA, J. P.; RAMOS, R. A. R.; JÚNIOR, J. L. F. Uma abordagem multicritério para a priorização de vias pavimentadas. **Transportes**, 17(1), 2009.
- LINDHOLM, C.; NOTANDER, J. P.; HÖST, M. A case study on software risk analysis and planning in medical device development. **Software Quality Journal**, DOI: 10.1007/s11219-013-9222-2, 2014.
- LINS, T.; OLIVEIRA, R.A.R. Energy efficiency in industry 4.0 using SDN. **Industrial Informatics (INDIN)**, 2017 **IEEE 15th International Conference** 609-614, 2017.
- LIU, S.; WIESENHÜETTER, S.; NOENNIG, J. R. Robot Quarter 4.0: an urban test ground for learning, living, and working with service robots. **Proceedings of the 3rd Workshop on Model-Driven Robot Software Engineering**. **ACM**, 2016.
- LIU, X. L.; WANG, W. M.; GUO, H.; BARENJI, A. V.; LI, Z.; HUANG, G. Q. Industrial blockchain based framework for product lifecycle management in industry 4.0. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, 63, 101897, 2020.
- LONGO, F.; NICOLETTI, E.; PADOVANO, A. Smart operators in industry 4.0: A human-centered approach to enhance operators' capabilities and competencies within the new smart factory context. **Computers & Industrial Engineering**, 2017.
- LOPEZ, F.; SHAO, Y.; MAOB, M.; MOYNE, J.; BARTONA, K.; TILBURY, D. A software-defined framework for the integrated management of smart manufacturing systems. **Manufacturing Letters**, 15 (1) 18-21, 2018.

- LORENZ, M.; SPRANGER, M.; RIEDEL, T.; PÜRZEL, F.; WITTSTOCK, V.; KLIMANT, P. CAD to VR-a methodology for the automated conversion of kinematic CAD models to virtual reality. **Procedia CIRP**, 41 358-363, 2016.
- LOUREIRO, A.M.V. **O emprego do método technology roadmapping em adesivos e selantes aplicados à construção civil**. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2011.
- MA, Y. W.; CHEN, Y.C.; CHEN, J.L. SDN-enabled network virtualization for industry 4.0 based on IoTs and cloud computing. *Advanced Communication Technology (ICACT)*, **IEEE 19th International Conference** 199-202, 2017.
- MACEDO, M. Gerenciamento de risco aplicado ao desenvolvimento de software. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, 10 1, 158-170, 2015.
- MAGEDANZ, T. Prototyping new concepts beyond 4G-the Fraunhofer Open5GCore. *it-Information Technology*, 57 (5) 314-320, 2015.
- MAHIDHAR, V.; SCHATSKY, D. **The Internet of Things**. Deloitte University Press. Arbeitskreis Industrie 4.0: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0, 2013.
- MARINS, F. A. S.; PEREIRA, M. S.; BELDERRAIN, M. C. N.; URBINA, L. M. S. Métodos de tomada de decisão com múltiplos critérios: aplicações na indústria aeroespacial. **Blucher Acadêmico**, São Paulo, Brasil, 2010.
- MARNEWICK, A.; MARNEWICK, C. The Ability of Project Managers to Implement Industry 4.0-related Projects. **IEEE Access**, 2020.
- MARQUARDT, K. **Smart services-characteristics, challenges, opportunities and business models**. *Proceedings of the International Conference on Business Excellence Gruyter Open*, 11 (1) 789-801, 2017.
- MARSH, J. L.; EYERS, D.R. Increasing production efficiency through electronic batch record systems: a case study. **Sustainable Design and Manufacturing**, 261-269, 2016.
- MARTIN, G.; MARTY, C.; BORNOFF, R.; POPPE, A.; ONUSHKIN, G.; RENCZ, M.; YU, J. Luminaire Digital Design Flow with Multi-Domain Digital Twins of LEDs. **Energies**, 12(12), 2389, 2019.
- MARTINEZ, B.; VILAJOSANA, X.; KIM, I.H.; ZHOU, J.; TUSET-PEIRÓ, P.; XHAFI, A.; POISSONNIER, D.; LU, X. I3Mote: An open development platform for the intelligent industrial internet. **Sensors**, 17 986, 2017.

- MARTINS, R. A. **Abordagens quantitativa e qualitativa. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 45-61, 2010.
- MARZANO, A.; FRIEL, I.; ERKOYUNCU, J. A. Design of a virtual reality framework for maintainability and assemblability test of complex systems. **Procedia CIRP**, 37 242-247, 2015.
- MATENA, V.; MASRUR, A.; BURES, T. An ensemble-based approach for scalable qos in highly dynamic CPS. Software Engineering and Advanced Applications (SEAA), **IEEE**, 43rd Euromicro Conference, 234-238, 2017.
- MAZUR, D.; PASZKIEWICZ, A.; BOLANOWSKI, M.; BUDZIK, G.; OLEKSY, M. Analysis of possible SDN use in the rapid prototyping processes part of the Industry 4.0. Bulletin of the Polish Academy of Sciences. **Technical Sciences**, 67(1), 2019.
- MCKINNEY, R. J. A research guide to the federal register and the code of federal regulations. Law Librarians' Society of Washington, DC. 2006.
- MILETTO, E. M.; DE CASTRO BERTAGNOLLI, S. **Desenvolvimento de Software II: Introdução ao Desenvolvimento Web com HTML, CSS, JavaScript e PHP-Eixo: Informação e Comunicação-Série Tekne**. Bookman Editora. 2014.
- MINAYO, M. C. S. (Org.). **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. Petrópolis: Vozes, 2001.
- MINEO, C.; PIERCE, S.G.; NICHOLSON, P.I.; COOPER, I. Robotic path planning for non-destructive testing - A custom MATLAB toolbox approach. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, 37 1-12, 2016.
- MIZGAJSKA, H.; WŚCIUBIAK, Ł. Determining Innovation Activity of SMEs in the Greater Poland Region in the Transition to the Fourth Industrial Revolution. **Studies of the Industrial Geography Commission of the Polish Geographical Society**, 32 (3), 26-37, 2018.
- MOHANTY, R. P.; AGARWAL, R.; CHOUDHURY, A. K.; TIWARI, M. A fuzzy ANP-based approach to R&D project selection: a case study. **International Journal of Production Research**, 43 (24) 5199-5216, 2005
- MOHELKA, H.; SOKOLOVA, M. Management approaches for Industry 4.0—the organizational culture perspective. **Technological and Economic Development of Economy**, 24 (6), 2225-2240, 2018.
- MOLANO, J. I. R.; LOVELLE, J. M. C.; MONTENEGRO, C. E.; GRANADOS, J. J. R.; CRESPO, R. G. Metamodel for integration of internet of things, social networks, the cloud and industry 4.0. **Journal of ambient intelligence and humanized computing**, 9(3), 709-723, 2018.



- MOORE, G. E. Cramming more components onto integrated circuits. **Electronics**, 38(8) 114, 1965.
- MOORE, R.; GIJSBERS, P.; FORTUNE, D.; GREGERSEN, J.; BLIND, M.; GROOSS, J.; VANECEK, S. OpenMI document series: scope for the openmi (version 2.0). The OpenMI Document Series. R. Moore. Wallingford, UK. **Centre for Ecology and Hydrology**, 2010.
- MORABITO, N. R.; PUREZA, V. Modelagem e simulação. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**, 2 169-198, 2012.
- MOURTZIS, D.; DOUKAS, M.; LALAS, C.; PAPAKOSTAS, N. Cloud-based integrated shop-floor planning and control of manufacturing operations for mass customisation. **Procedia CIRP**, 33 9-16, 2015.
- MUELLER, E.; CHEN, X.; RIEDEL, R. Challenges and requirements for the application of industry 4.0: a special insight with the usage of cyber-physical system. **Chinese Journal of Mechanical Engineering**, 30 164, 2017.
- MUGARZA, I.; PARRA, J.; JACOB, E. **Software updates in safety and security co-engineering**. International Conference on Computer Safety, Reliability and Security, 199-210, 2017.
- MULLER, U.; GUST, P.; FELLER, N.; SCHIFFMANN, M. WorkDesigner: consulting application software for the strain-based staffing and design of work processes. **Procedia Manufact.**, 3 379-386, 2015.
- NALLY, J. D. Good manufacturing practices for pharmaceuticals. **CRC Press**. 2016.
- NELLIPPALLIL, A. B.; MING, Z.; ALLEN, J. K.; MISTREE, F. Cloud-Based Materials and Product Realization—Fostering ICME Via Industry 4.0. **Integrating Materials and Manufacturing Innovation**, 8(2), 107-121, 2019.
- NEPAL, B.; YADAV, O. P.; MURAT, A. A fuzzy-AHP approach to prioritization of CS attributes in target planning for automotive product development. **Expert Systems with Applications**, 37 (10) 6775-6786, 2010.
- NEVES, S. M. **Gestão de riscos baseada no conhecimento: modelo conceitual para empresas de desenvolvimento de software** / Sandra Miranda Neves - Guaratinguetá : [s.n.]. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013.
- NEVES, S. M.; SILVA, C. E. S. Risk management applied to software development projects in incubated technology-based companies: literature review, classification and analysis. **Gestão e Produção**, 23 (4), 788-814, 2016.

- NICOLAE, A.; KORODI, A.; SILEA, I. An Overview of Industry 4.0 Development Directions in the Industrial Internet of Things Context. **Science and Technology**, 22(3-4), 183-201, 2019.
- NIKOU, S.; MEZEI, J. Evaluation of mobile services and substantial adoption factors with Analytic Hierarchy Process (AHP). **Telecommunications Policy**, 37 (10) 915-929, 2013.
- OLIVEIRA, L. M. S. **Caracterização do conceito de modularidade no desenvolvimento de linguagens de programação**. f. Monografia (Graduação em Sistemas de Informação) - Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2017.
- OLIVEIRA, C. A. F.; DA CRUZ, A. G.; TAVOLARO, P.; CORASSIN, C. H. Food Safety: Good Manufacturing Practices (GMP), Sanitation Standard Operating Procedures (SSOP), Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP). In Antimicrobial food packaging. **Academic Press**. (pp. 129-139). 2016.
- OPENSHAW, E.; WIGGINTON, C.; HAGEL, J.; BROWN, J.S.; WOOLL, M.; BANERJEE, P. **The Internet of Things Ecosystem: unlocking the business value of connected devices**. Deloitte, 2014.
- ORAL, C.; AKKAYA, G. C. Dot. com Price Bubble for the Venture Capital Growth of Digital Companies. In Digital Innovations for Customer Engagement, Management, and Organizational Improvement. **IGI Global**. (pp. 200-220). 2020.
- OSTERWALDER, A.; PIGNEUR, Y. Bussines Model Generation - Inovação em Modelo de Negócios. 1 ed. Rio de Janeiro: **Alta books**, 2010.
- OUN, A.; BENABDALLAH, I.; CHERIF, A. Improved Industrial Modeling and Harmonic Mitigation of a Grid Connected Steel Plant in Libya, 2019.
- PACHECO, D. A. D. J. Teoria das Restrições, Lean Manufacturing e Seis Sigma: limites e possibilidades de integração. **Production**, 24(4), 940-956. 2014.
- PAELKE, V.; RÖCKER, C. **User interfaces for cyber-physical systems: challenges and possible approaches**. International Conference of Design, User Experience and Usability, 75-85, 2015.
- PAPAKOSTAS, N.; O'CONNOR, J.; BYRNE, G. Internet of things technologies in manufacturing: Application areas, challenges and outlook. Information Society (i-Society), **IEEE International Conference** 126-131, 2017.
- PARIDA, A.; CHOUDHURY, S.; CHATTERJEE, S.; CHATTERJEE, D. A cost effective trade-off based renewable power augmented energy efficient load model for manufacturing industries for demand side management. **Cogent Engineering**, 3(1) 123- 130, 2016.

- PARK, H.; PHAAL, R.; HO, J. Y.; O'SULLIVAN, E. Twenty years of technology and strategic roadmapping research: A school of thought perspective. **Technological Forecasting and Social Change**, 154, 119965, 2020.
- PARNAS, D. L. On the criteria to be used in decomposing systems into modules. **Communications of the ACM**, 15(12) 1053-1058, 1972.
- PARTOVI, F. Y. An analytical model of process choice in the chemical industry. **International Journal of Production Economics**, 105 (1) 213-227, 2007.
- PATELAY, W. Industry 4.0 in the CNC technology: Extensive changes in the manufacturing world. **Mechatronik**, 121 (9) 50-51, 2013.
- PENAS, O.; PLATEAUX, R.; PATALANO, S.; HAMMADIA, M. Multi-scale approach from mechatronic to Cyber-Physical Systems for the design of manufacturing systems. **Computers in Industry**, 86 52-69, 2017.
- PETCHARIT, A.; SORNSARUHT, P.; PIMDEE, P. An Analysis of Total Quality Management (TQM) within the Thai Auto Parts Sector. **International Journal of Online and Biomedical Engineering**, 16(02), 131-145, 2020.
- PETERS, H. Industry 4.0 as the basis of modern metallurgical innovations. **Chernye Metally**, 7 56-63, 2017.
- PFEIFFER, T.; HELLMERS, J.; SCHOEN, E.M. Empowering user interfaces for industrie 4.0. **Proceedings of the IEEE**, 104 (5) 986-996, 2017.
- PILLKAHN, U. In: Aktiengesellschaft, S. (Ed.), Using trends and scenarios as tools for strategy development — shaping the future of your enterprise. **Publics Corporate Publishing**, Erlangen, Germany, 2008.
- PMBOK, G. **Um guia do conjunto de conhecimentos em gerenciamento de projetos**. In Project Management Institute, 42, 54-55. 2018.
- PRAUSE, M; WEIGAND, J. Industry 4.0 and object-oriented development: incremental and architectural change. **J Technol Manag Innov**, (SciELO Chile) 11(2):104-110, 2016.
- PRESSMAN, R. S.; MAXIM, B. R.; BRUCE, R. Engenharia de Software: uma abordagem profissional - 8ª Edição. **McGraw Hill**, Brasil, 2016.
- QIN, J.; LIU, Y.; GROSVENOR, R. A Categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond. **Procedia CIRP**, 52 173-178, 2016.
- RAMOS, R. C. B.; VILLAGRÁN, N. V.; YOO, S. G.; QUIÑA, G. N. Software Quality Assessment Applied for the Governmental Organizations using ISO/IEC 25000. In 2018 International Conference on eDemocracy & eGovernment (ICEDEG) **IEEE**. (pp. 311-316). 2018.

- RAS, E.; WILD, F.; STAHL, C.; BAUDET, A. Bridging the skills gap of workers in industry 4.0 by human performance augmentation tools: challenges and roadmap. Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments, **ACM**, 428-432, 2017.
- RAUCH, E.; ROJAS, R.; DALLASEGA, P.; MATT, D.T. Smart shopfloor management. **ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb**. 113, 1-2, 17-21, 2018.
- RENDALL, R.; REIS, M. S. Which regression method to use? Making informed decisions in “data-rich/knowledge poor” scenarios–The Predictive Analytics Comparison framework (PAC). **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, 181, 52-63, 2018.
- RILEY, D. Learning about systems by making models. **Computers & Education**, 15 1-3, 255-263, 1990.
- ROA, P. A.; MORALES, C.; GUTIÉRREZ, P. Norma iso/iec 25000. Tecnología Investigación y Academia, 3(2), 27-33. 2015.
- RYLNIKOVA, M.; RADCHENKO, D.; KLEBANOV, D. Intelligent mining engineering systems in the structure of industry 4.0. **E3S Web of Conferences**. EDP Sciences 21 01032, 2017.
- SAATY, T. L. **Multi-criteria Decision Making. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation**. 2. ed. Pittsburgh: RWS Publications, 1990.
- SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**, New York (USA): McGraw- Hill, 1980.
- SAATY, T. L.; OZDEMIR, M. S. **The Encyclicon: a dictionary of decisions with dependence and feedback based on the Analytic Network Process**. Pittsburgh: RWS, 2005.
- SAFAR, L.; SOPKO, J.; BEDNAR, S.; POKLEMBA, R. Concept of SME business model for industry 4.0 environment. **TEM Journal**, 7(3), 626, 2018.
- SALEHI, V. Development of an agile concept for mbse for future digital products through the entire life cycle management called Munich agile MBSE concept (MAGIC). **IEEE International Systems Engineering**, 1-8, 2020.
- SALGADO, E. G. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos eletrônicos em empresas de base tecnológica: estudos de casos múltiplos com decisão multicriterial**. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 183 f., 148-174, 2011.
- SALGADO, E.G.; SILVA, E.R.S.; SILVA, C.E.S.; MELLO, C.H.P. An analytic hierarchy process analysis for small and medium-sizes enterprises: prioritizing the practices of total quality management in Brazil, **International Journal for Quality Research**, 9 (2) 185-196, 2015.

- SALOMON, V. A. P. Analytic Hierarchy Process. **Métodos de Tomada de Decisão com Múltiplos Critérios: Aplicações na Indústria Aeroespacial**, São Paulo: Edgard Blucher, 21-39, 2010.
- SALOMON, V. A. P. **Contribuições para validação de tomada de decisão com múltiplos critérios**. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá. 2010.
- SALOMON, V. A. P. **Desempenho da modelagem do auxílio à decisão por múltiplos critérios na análise do planejamento e controle da produção**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2004.
- SALOMON, V. A. P., WHITAKER, R. Decision-making considering dependence relations for the improvement of production management. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, 4 (2) 47-60, 2007.
- SALOMON, V. A. P.; SHIMIZU, T. Performance of three different methods of multiple criteria decision making applied to the supplier selection. **Book of abstracts from the International Conference on MCDM**. 18 200, 2006.
- SANCIBRIAN, Y.; GARCIA, P. Industry of the future: implementation of collaborative cae tools in industrial engineering degrees. **Procedia CIRP**, 78 142-150, 2017.
- SANTOS, P. Tecnologia **Você está preparado para viver a revolução da indústria 4.0?** 2015. Disponível em: <<http://computerworld.com.br/tecnologia/2015/03/25/voce-esta-preparado-para-viver-a-revolucao-da-industria-4-0>> Acesso em: 01 set 2017.
- SARKER, I. H.; KAYES, A. S. M.; BADSHA, S.; ALQAHTANI, H.; WATTERS, P. Cybersecurity data science: an overview from machine learning perspective. **Journal of Big Data**, 7(1), 1-29. 2020.
- SAUBERER, G.; RIEL, A.; MESSNARZ, R. **Diversity and PERMA-nent positive leadership to benefit from industry 4.0 and kondratieff 6.0**. European Conference on Software Process Improvement, 642-652, 2017.
- SCHEUERMANN, C.; VERCLAS, S.; BRUEGGE, B. Agile factory-an example of an industry 4.0 manufacturing process. Cyber-Physical Systems, Networks, and Applications (CPSNA), **IEEE**, 3rd International Conference 43-47, 2015.
- SCHLICK, J.; STEPHAN, P.; LOSKYLL, M.; LAPPE, D. 'Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung', in VogelHeuser, B., Bauernhansl, T. and ten Hompel, M. (eds) **Industrie 4.0 Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung, Technologien und Migration**, Wiesbaden, **Springer Vieweg**, 57-84, 2012.

- SCHONEBERGER, J. C; FRICKE, A. A blueprint for software architectures in process optimization. **Chemie Ingenieur Technik**, 89(5) 515-526, 2015.
- SCHUH, G.; POTENTE, T.; WESCH-POTENTE, C.; WEBER, A. R.; PROTE, J.P. Collaboration mechanisms to increase productivity in the context of industrie 4.0. **Procedia CIRP**, 19 51-56, 2014.
- SCHUMACHER, A.; EROL, S.; SIHN, W. A maturity model for assessing industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. **Procedia CIRP**, 52, 161-166, 2016.
- SEBASTIAN, E. J.; JOSE, J. M.; SCHAPPACHER, M.; SIKORA, A. Seamless test environment for distributed embedded wireless networks. *Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, **IEEE International Conference**, 681-686, 2017.
- SHA, L.; XIAO, F.; CHEN, W. IIoT-SIDefender: Detecting and defense against the sensitive information leakage in industry IoT. **World Wide Web**, 21 (1) 59-88, 2018.
- SHAFIQ, S. I.; SANIN, C.; SZCZERBICKI, E.; TORO, C. Virtual engineering object/virtual engineering process: a specialized form of cyber physical system for Industrie 4.0. **Procedia Computer Science**, 60: 11461155. Doi: 10.1016/j.procs.2015.08.166, 2015.
- SHANG, J. S.; TJADER, Y.; DING, Y. A unified framework for multicriteria evaluation of transportation projects. **Transactions on engineering management**, 51 (3) 300-313, 2004.
- SHIMIZU, T. **Decisão nas organizações**. São Paulo: Editora Atlas, 2010.
- SHROUF, F.; ORDIERES, J.; MIRAGLIOTTA, G. Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm. **Proc. IEEE Int. Conf. Ind. Eng. Eng. Manage.**, 697-701, 2014.
- SILVA, C. R. A. **Internet como ferramenta estratégica para o negócio: um estudo comparativo em laboratórios de análises clínicas do município de Cruz das Almas - BA**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração) - Faculdade Maria Milza, Governador Mangabeira, Bahia, 34 f. 2016.
- SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de Dissertação**. Florianópolis: UFSC, 4a. edição, v. 123, 2005.
- SILVA, M. S.; DA ROCHA SILVA, A. L.; DOS SANTOS, M. L.; ABRANTES, M. L. F.; MARTINS, A. P.; ZAFFANI, A. R. Lei de propriedade industrial: uma análise das inovações brasileiras depositadas no instituto nacional da propriedade industrial no período de 2000 a 2017. **Revista Fatec Sebrae em debate-gestão, tecnologias e negócios**, 7(12), 87-87. 2020.
- SIVANATHAN, A.; RITCHIE, J. M.; LIM, T. A novel design engineering review system with searchable content: knowledge engineering via real-time multimodal recording. **Journal of Engineering Design**, 681-708, 2017.

- SKLIAROV, V; PROKOPOV, A. Metrological assurance and traceability for Industry 4.0 and additive manufacturing in Ukraine, Proc. SPIE 10602, Smart Structures and NDE for Industry. 2019.
- SOIC, R.; VUKOVIC, M.; SKOCIR, P.; JEZIC, G. Context-Aware Service Orchestration in Smart Environments. In Agents and Multi-agent Systems: **Technologies and Applications 2019** (pp. 35-45). Springer, Singapore. 2020.
- SOMMERVILLE, I. **Engenharia de Software** , 9ª edição. Tradução: Kalinka Oliveira, Ivan Bosnic; São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.
- SOMMERVILLE, I. **Engineering Software Products**. Pearson. 2020.
- SON, C.; KIM, J.; KIM, Y. Developing scenario-based technology roadmap in the big data era: an utilisation of fuzzy cognitive map and text mining techniques. **Technology Analysis & Strategic Management**, 1-20, 2020.
- STAMATESCU, I.; STAMATESCU, G.; FAGARASAN, I.; ARGHIRA, N.; CALOFIR, V.; ILIESCU, S.S. ASID: Advanced system for process control towards intelligent specialization in the power engineering field. Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), 9th **IEEE** International Conference, 1 475-480, 2017.
- STANSFIELD, K. E.; AZMAT, F. Developing high value IoT solutions using AI enhanced ISO 16355 for QFD integrating market drivers into the design of IoT offerings. Communication, Computing and Digital Systems (C-CODE), International Conference **IEEE**, 412-416, 2017.
- STELLMAN, A.; GREENE, J. Applied software project management. **O'Reilly Media**. p. 98, 2005.
- STERGIOU, C.; PSANNIS, K. E.; KIM, B. G.; GUPTA, B. Secure integration of IoT and cloud computing. **Future Generation Computer Systems**, 78, 964-975. 2018.
- STOCK, T.; SELIGER, G. Opportunities of sustainable manufacturing in Industry 4.0. **Procedia CIRP**, 40 536-541, 2016.
- STOPA, G. R.; RACHID, C. L. Scrum: Metodologia ágil como ferramenta de gerenciamento de projetos. **CES Revista**, 33(1), 302-323. 2019.
- SUBRAMANIAN, N.; JEYARAJ, A. Recent security challenges in cloud computing. **Computers & Electrical Engineering**, 71, 28-42. 2018.
- TANG, C.; YANG, N. A monitoring and control system of agricultural environmental data based on the internet of things. **Journal of Computational and Theoretical Nanoscience**, 13(7), 4694-4698, 2016.

- TELLES, M. S.; VIANNA JR., A.S.; LE ROUX, G.A.C. Programming skills in the industry 4.0: are chemical engineering students able to face new problems? **Education for Chemical Engineers**, 22 69-76, 2018.
- THAMES, L.; SCHAEFER, D. Software-defined cloud manufacturing for industry 4.0. **Proced CIRP** (Elseiver) 52 12-17, 2016.
- TIBONI, M.; AGGOGERI, F.; BUSSOLA, R.; BORBONI, A.; PERANI, C. A.; PELLEGRINI, N. Low-Cost Design Solutions for Educational Robots. **Journal of Robotics and Mechatronics**, 30(5), 827-834, 2018.
- TOMIYAMA, T.; LUTTERS, E.; STARK, R.; ABRAMOVICI, M. Development capabilities for smart products. **CIRP Annals**, 68(2), 727-750, 2019.
- TOMZIK, D. A.; XU, X.W. Requirements for a cloud-based control system interacting with soft bodies. *Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP)*, **IEEE 24th International Conference** 1-5, 2017.
- TRUSCULESCU, A.; DRAGHICI, A.; ALBULESCU, C.T. Key metrics and key drivers in the valuation of public enterprise resource planning companies. **Procedia Computer Science**, 64 917-923, 2015.
- TSENG, C. T.; LEE, C. Y.; TAI, K. C. Development and Assessment of a Mold Design Curriculum Corresponding to Industry 4.0 Based on the CDIO Principles. **International Journal of Engineering Education**, 35(5), 1526-1539, 2019.
- TSUCHIYA, A.; FRAILE, F.; KOSHIJIMA, I.; ORTIZ, A.; POLER, R. Software defined networking firewall for industry 4.0 manufacturing systems. **Journal of Industrial Engineering and Management**, 11(2), 318-333, 2018.
- TUCHKEVICH, E.; RECHINSKY, A.; VYSOTSKIY, A.; ZOLOTOVA, J.; TUCHKEVICH, V. ADN and AP Programs for Civil Engineering Students. **Procedia engineering**, 117 1137-1142, 2015.
- UNGUREAN, I.; GAITAN, V. G.; GAITAN, N.C. A distributed software architecture for remote monitor and control of the smart buildings. *Computational Intelligence for Multimedia Understanding (IWCIM)*, **IEEE International Workshop** 1-5, 2015.
- USLAR, M.; HANNA, S. **Model-driven requirements engineering using RAMI 4.0 based visualization**. Institut für Informatik, Escherweg 2, 26121 Oldenburg, 2018.
- VAIDYA, O. S.; KUMAR, S. Analytic hierarchy process: An overview of applications. **European Journal of operational research**, 169 (1) 1-29, 2006.



- VELÍŠEK, K. Design of a robotized workstation making use of the integration of CAD models and Robotic Simulation software as way of pairing and comparing real and virtual environments. MATEC Web of Conferences. **EDP Sciences**, 94, 2017.
- VERBA, N.; CHAO, K.M.; JAMES, A.; LEWANDOWSKI, J.; FEI, X.; TSAI, C.F. Graph analysis of fog computing systems for industry 4.0. E-Business Engineering (ICEBE), **IEEE 14th International Conference**, 46-53, 2017.
- VICK, T. E.; NAGANO, M. S. Processos dependentes de informação em empresas incubadas e graduadas de base tecnológica: um estudo comparativo de casos. **Perspectivas em Ciência da Informação**, 17(3), 67-81, 2012.
- VIEIRA, G. H. **Análise e comparação dos métodos de decisão multicritério AHP Clássico e Multiplicativo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)-Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2006.
- VILA, C.; UGARTE, D.; RÍOS, J.; ABELLÁN, J.V. Project-based collaborative engineering learning to develop Industry 4.0 skills within a PLM framework. **Procedia Manufacturing**, 13 1269-1276, 2017.
- VISHNEVSKIY, K.; KARASEV, O.; MEISSNER, D. Integrated roadmaps for strategic management and planning. **Technological Forecasting and Social Change**, 110, 153-166, 2016.
- VOGEL, T.; KERBER, F. Semantic modelling for collaborative robot applications-Model-based code generation. **ATP Edition**, 11 48-56, 2017.
- VOGEL-HEUSER, B.; SARDÁ-ESPINOSA, A. Current status of software development in industrial practice: Key results of a large-scale questionnaire. Industrial Informatics (INDIN), **IEEE 15th International Conference** 595-600, 2017.
- VRCHOTA, J.; PECH, M. Readiness of Enterprises in Czech Republic to Implement Industry 4.0: Index of Industry 4.0. **Applied Sciences**, 9(24), 5405, 2019.
- WALLENUS, J.; DYER, J. S.; FISHBURN, P. C.; STEUER, R. E.; ZIONTS, S.; DEB, K. Multiple criteria decision making, multiattribute utility theory: Recent accomplishments and what lies ahead. **Management science**, 54(7), 1336-1349, 2008.
- WANG, S.; ZHANG, C.; LIU, C.; LI, D.; TANG, H. Cloud-assisted interaction and negotiation of industrial robots for the smart factory. **Computers & Electrical Engineering**, 0045-7906, 2017.
- WAZLAWICK, R. **Engenharia de software: conceitos e práticas**. Elsevier. Brasil, 2013.
- WEDLEY, W. C. Fewer comparisons: efficiency via sufficient redundancy. **Proceedings of the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process**, 10 1-15, 2009.

- WEILL, P.; ROSS, J. W. Governança de TI-tecnologia da informação. **M. Books**. 2020.
- WEST, D; GRANT, T. **Agile development: mainstream adoption has changed agility**. Forrester Research, 2010.
- WEYER, S.; SCHMITT, M.; OHMER, M.; GORECKY, D. Towards Industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. **IFAC-PapersOnLine** 48 (3) 579-584, 2015.
- WHITAKER, R. Validation examples of the Analytic Hierarchy Process and Analytic Network Process. **Mathematical and Computer Modelling**, 46 (7) 840-859, 2007.
- WIEGERS, K.E. Software requirements: practical techniques for gathering and managing requirements throughout the product development cycle, Second Edition, **Microsoft Press**, 2003.
- WILKE, A.; MAGENHEIM, J. Requirements analysis for the design of workplace-integrated learning scenarios with mobile devices: mapping the territory for learning in industry 4.0. Global Engineering Education Conference (EDUCON), **IEEE**, 476-485, 2017.
- WILSON, L. How to implement lean manufacturing (pp. 45-197). New York: McGraw-Hill. 2010.
- WINEBRAKE, J. J.; CRESWICK, B. P. The future of hydrogen fueling systems for transportation: an application of perspective-based scenario analysis using the analytic hierarchy process. **Technological Forecasting and Social Change**, 70 (4) 359-384, 2003.
- WU, D.; TERPENNY, J.; SCHAEFER, D. Digital design and manufacturing on the cloud: a review of software and services. Artificial Intelligence for Engineering Design, **Analysis and Manufacturing**, 31 (1) 104-118., 2017.
- XU, L.; TANG, S. **Technology innovation-oriented complex product systems R&D investment and financing risk management: an integrated review**. Proceedings of the Tenth International Conference on Management Science and Engineering Management, 1653-1663, 2017.
- XU, H.; YU, W.; GRIFFITH, D.; GOLMIE, N. A survey on industrial Internet of Things: A cyber-physical systems perspective. **IEEE Access**, 6, 78238-78259, 2019.
- YIN, R. **Estudo de caso. Planejamento e métodos**. 3ª Edição, Porto Alegre: Bookman, 2005.
- YOON, J.; KIM, Y. J.; VONORTAS, N. S.; HAN, S. W. A moderated mediation model of technology roadmapping and innovation: The roles of corporate foresight and organizational support. **Journal of Engineering and Technology Management**, 52, 61-73, 2019.
- ZAROOUR, M.; ALHARBI, M. User experience framework that combines aspects, dimensions, and measurement methods. **Cogent Engineering**, 4 (1) 1421006, 2017.

- ZAWRA, L. M.; MANSOUR, H. A.; ELDIN, A. T.; MESSIHA, N.W. **Utilizing the internet of things (IoT) technologies in the implementation of industry 4.0.** International Conference on Advanced Intelligent Systems and Informatics, 798-808, 2018.
- ZHANG, Y.; CHEN, H.; ZHANG, G.; PORTER, A. L.; ZHU, D.; LU, J. Topic analysis and forecasting for science, technology and innovation: methodology with a case study focusing on big data research. **Technological Forecasting and Social Change**, 105, 179-191, 2016.
- ZHANG, Y.; REN, S.; LIU, Y.; SAKAO, T.; HUISINGH, D. A framework for Big Data driven product lifecycle management. **Journal of Cleaner Production**, 159, 229-240. 2017.
- ZHOU, N.; LI, D.; LI, S.; WANG, S.; LIU, C. Model-based development of knowledge-driven self-reconfigurable machine control systems. **IEEE Access.**, 2017.
- ZORZETTI, M.; SIGNORETTI, I.; PEREIRA, E.; SALERNO, L.; MORALLES, C.; TRINDADE, C.; MARCZAK, S.A **Practice-Informed Conceptual Model for a Combined Approach of Agile, User-Centered Design, and Lean Startup.** In International Conference on Product-Focused Software Process Improvement (pp. 142-150). Springer, Cham. 2020