

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E  
SISTEMAS  
NÍVEL DOUTORADO**

**SIMONE SANTOS KNAK**

**PROPOSTA DE UM *FRAMEWORK* PARA PRIORIZAÇÃO DE IMPLANTAÇÃO  
DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 A PARTIR DA ESTRATÉGIA DE  
PRODUÇÃO PARA GERAÇÃO DE VALOR DA FIRMA**

**São Leopoldo**

**2022**

SIMONE SANTOS KNAK

PROPOSTA DE UM *FRAMEWORK* PARA PRIORIZAÇÃO DE IMPLANTAÇÃO DAS  
TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 A PARTIR DA ESTRATÉGIA DE PRODUÇÃO  
PARA GERAÇÃO DE VALOR DA FIRMA

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção e Sistemas, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Richter

Coorientador: Prof. Dr. Douglas Rafael Veit

São Leopoldo

2022

K67p

Knak, Simone Santos

Proposta de um *framework* para priorização de implantação das tecnologias da indústria 4.0 a partir da estratégia de produção para geração de valor da firma / por Simone Santos Knak. – 2022.

245 f. : il. ; 30 cm.

Tese (doutorado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Cristiano Richter ; Coorientação: Prof. Dr. Douglas Rafael Veit.

1. Priorização de tecnologias. 2. Indústria 4.0.  
3. Critérios competitivos. I. Título.

CDU 338.45

Catlogação na Fonte:

Bibliotecária Vanessa Borges Nunes - CRB 10/1556

SIMONE SANTOS KNAK

**PROPOSTA DE UM *FRAMEWORK* PARA PRIORIZAÇÃO DE IMPLANTAÇÃO  
DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 A PARTIR DA ESTRATÉGIA DE  
PRODUÇÃO PARA GERAÇÃO DE VALOR DA FIRMA**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção e Sistemas, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Aprovado em 24 de fevereiro de 2022

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Cristiano Richter – UNISINOS – Orientador

---

Prof. Dr. Douglas Rafael Veit – UNISINOS – Coorientador

---

Prof. Dr. José Antonio Valle Antunes Junior – UNISINOS

---

Prof. Dr. Luiz Henrique Pantaleão – UNISINOS

---

Prof. Dr. Emir José Redaelli – UNISINOS/CEO INTELLECTUM

---

Prof. Dr. Luiz Alberto Oliveira Rocha – UFRGS

## RESUMO

A indústria 4.0 (I4.0) é um novo paradigma dos sistemas produtivos, que vem movimentando as discussões de tomadas de decisões das empresas. As empresas entendem que precisam agir, e existem necessidades por parte delas em se tratando de tomar decisões rápidas e assertivas sobre investimentos, levando em consideração o contexto nacional em que estão inseridas e a forma como planejam competir. Sendo assim, verifica-se que há uma necessidade de a estratégia de negócios das empresas estar alinhada ao mecanismo da função produção e, conseqüentemente, à necessidade de investimentos nas novas tecnologias existentes. Nesse contexto, surgem incertezas na tomada de decisão quanto à implantação e priorização das tecnologias da I4.0. Nessa direção, o objetivo desta tese é propor um *framework* teórico para priorização de implantação das tecnologias da I4.0 a partir da estratégia de produção para geração de valor da firma. Para tanto, emprega-se a *Design Science Research* com o intuito de conduzir a pesquisa. A fim de atender aos objetivos desta pesquisa, foi realizada uma revisão sistemática da literatura, bibliometria, revisão bibliográfica, momento que originou a V0 do artefato. Dessa revisão, gerou uma entrevista durante a qual 63 especialistas da I4.0 e inovação validaram as tecnologias da I4.0 e critérios competitivos, que culminou na V1 do artefato. Para dar maior rigor à pesquisa, os resultados foram submetidos à análise de variância ANOVA e teste de Bonferroni (variação intra e intergrupos), que gerou as versões V2 e V3. Os testes foram feitos no software SPSS versão.21.1. Com a V3, o artefato foi submetido ao grupo focal de especialistas e à empresa objeto do estudo de caso para fazer a validação. A validação do estudo de caso foi feita por três UENs (Brasil, Estados Unidos e Alemanha), e o resultado foi satisfatório, já que as três unidades usariam o *framework* para nortear discussões de planos de investimentos de I4.0. Conclui-se que, para considerar as inúmeras tecnologias da I4.0 e os custos desses investimentos, as empresas necessitam de instrumentos que as auxiliem a tomar decisões de investimentos mais assertivas e a reduzir as incertezas. Torna-se necessário, desse modo, analisar o contexto em que estão inseridas, atualizar-se quanto às tecnologias da I4.0, pois não se trata de implantar tecnologia e sim entender dos benefícios da convergência e da integração que elas podem oferecer. Com o *framework* proposto, é possível alinhar as estratégias de operações aos critérios competitivos de maior relevância para seus clientes com potencial de criação de valor.

**Palavras-chave:** Priorização de Tecnologias. Indústria 4.0. Critérios Competitivos.

## ABSTRACT

Industry 4.0 (I4.0) is a new paradigm for production systems, which has been stirring the discussions on companies' decision-making. Companies understand that they need to act, and there are needs on their part when it comes to making quick and assertive decisions about investments, taking into account the national context in which they operate and the way they plan to compete. Thus, there is a need for the companies' business strategy to be aligned to the production function mechanism and, consequently, to the need for investments in new existing technologies. In this context, uncertainties arise in decision making regarding the implementation and prioritization of I4.0 technologies. In this direction, the objective of this thesis is to propose a theoretical framework for prioritizing the implementation of I4.0 technologies based on the company's production strategy to generate value. To this end, Design Science Research is used with the intention of conducting the research. In order to meet the objectives of this research, a systematic review of the literature, bibliometrics, and bibliographic review were carried out, a moment that originated the V0 of the artifact. This review generated an interview in which 63 I4.0 and innovation specialists validated the I4.0 technologies and competitive criteria, which culminated in the V1 of the artifact. In order to add more rigor to the research, the results were submitted to ANOVA analysis of variance and Bonferroni test (intra and inter-group variation), which generated versions V2 and V3. The tests were performed in the software version SPSS.21.1, and with V3 the artifact was submitted to the focus group of experts and to the company that was the object of the case study for validation. The case study validation was done by three UENs (Brazil, United States and Germany), and the result was satisfactory, since the three units would use the framework to guide the I4.0 investment plan discussions. It was concluded that, to consider the numerous technologies of I4.0 and the costs of these investments, companies need instruments that help them make more assertive investment decisions and reduce uncertainties. It becomes necessary, therefore, to analyze the context in which they are inserted, updating as to the I4.0 technologies, because it is not a matter of deploying technology but rather understanding the convergence benefits and the integration that they can offer. With the proposed framework, it is possible to align the operations strategies to the most relevant competitive criteria for their customers with potential value creation.

**Keywords:** Technology Prioritization. Industry 4.0. Competitive Criteria.

*Aos meus amores,  
Jonathan e Filipe.*

*O conhecimento precisa ser melhorado, questionado e constantemente expandido, ou ele desaparece.*

**Peter F. Drucker**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - <i>Framework</i> Teórico .....	26
Figura 2 - Estrutura da Fundamentação Teórica.....	41
Figura 3 - Estágios das Revoluções Industriais.....	43
Figura 4 - Mapa Bibliométrico da Indústria 4.0 por Cocitação .....	44
Figura 5 - Nove Tecnologias-chave para Indústria 4.0.....	48
Figura 6 - Convergência de Tecnologias-chave da I4.0 .....	49
Figura 7 - Convergência de Conceitos das Tecnologias da I4.0 .....	51
Figura 8 - O Conceito Tradicional do Mercado.....	62
Figura 9 - Cadeia de Valores.....	63
Figura 10 - Sistema de Valores .....	64
Figura 11 - <i>Framework</i> dos Processos de Valor da I4.0 .....	66
Figura 12 - Níveis Estratégicos da Empresa .....	69
Figura 13 - O Processo de Determinação da Política de Manufatura .....	70
Figura 14 - Estratégia para Condução de Pesquisas Científicas .....	96
Figura 15 - Base do Conhecimento da DSR e suas Etapas.....	98
Figura 16 - Etapas do Método Fundamentado da DSR .....	104
Figura 17 - Identificação das Classes de Problemas e Artefatos de Trabalho – Fase 3 do Método de Trabalho .....	109
Figura 18 - Artefato Versão zero - V0.....	122
Figura 19 - Etapas da V1 do Artefato .....	124
Figura 20 - Total de Respondentes – Entrevista (1).....	127
Figura 21 - Artefato Versão Um - V1 sem Tratamento dos Dados .....	128
Figura 22 - Artefato Versão Um - V1 .....	131
Figura 23 - Etapas da V2 e V3 do Artefato.....	133
Figura 24 - Artefato Versão Três- V3 .....	138
Figura 25 - Comparação Priorização Critério Custo - Média versus ANOVA (Teste de Bonferroni).....	140
Figura 26 - Comparação Priorização Critério Velocidade - Média versus ANOVA (Teste de Bonferroni) .....	141
Figura 27 - Comparação Priorização Critério Flexibilidade - Média versus ANOVA (Teste de Bonferroni) .....	142

Figura 28 - Comparação Priorização Critério Sustentabilidade - Média versus ANOVA (Teste de Bonferroni) .....	144
Figura 29 - Comparação Priorização Critério Inovação - Média versus ANOVA (Teste de Bonferroni).....	145
Figura 30 - Comparação Priorização Critério Desempenho de Entrega - Média versus ANOVA (Teste de Bonferroni) .....	146
Figura 31 - Fases da Análise de Conteúdo .....	148
Figura 32 - Organograma Parcial – Ensinger Holding GmbH & Co. KG .....	163
Figura 33 - Proposta do <i>Framework</i> V3 - Final.....	191
Figura 34 - Escala Likert .....	215
Figura 35 - <i>Framework</i> Teórico .....	236

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Popularidade do Termo “Industry 4.0” ao Longo do Tempo .....	19
Gráfico 2 - Percentual de Empresas que Investiram por Ano .....	23
Gráfico 3 - Número de Publicações por Ano na Base <i>Scopus</i> .....	43

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Levantamento de Estudos para Priorização de Tecnologias .....	33
Quadro 2 - Tecnologias em Função do Desempenho em Relação aos Dados.....	51
Quadro 3 - Princípios de <i>Design</i> da Indústria 4.0.....	60
Quadro 4 - Critérios Competitivos conforme RSL .....	75
Quadro 5 - RSL Critérios Competitivos .....	82
Quadro 6 - Resultados das Buscas por Estudos Primários.....	87
Quadro 7 - RSL Priorização de Tecnologias e Indústria 4.0 .....	89
Quadro 8 - Métodos e Técnicas para Avaliação dos Artefatos.....	100
Quadro 9 - Tipos de Grupos Focais em DSR.....	101
Quadro 10 - Resultados das Buscas por Estudos Primários – Priorização de Tecnologias.....	106
Quadro 11 - Critérios para Julgamento da Qualidade de um Projeto de Pesquisa .	107
Quadro 12 - Etapas da Pesquisa .....	113
Quadro 13 - Lista de Especialistas (grupos de pesquisas) .....	115
Quadro 14 - Lista de Especialistas (empresas de consultoria).....	115
Quadro 15 - Relação de Pesquisador/especialista.....	116
Quadro 16 - Informações Acadêmicas e Profissionais dos Entrevistados – para a Validação da V3 .....	117
Quadro 17 - Informações Profissionais dos Entrevistados – para a Validação da V3 .....	118
Quadro 18 - Empresas Participantes do Estudo de Caso .....	119
Quadro 19 - Conceitos Adotados aos Critérios Competitivos.....	125
Quadro 20 - Relação de Pesquisador/Especialista .....	164
Quadro 21 - Maturidade da Implantação das Tecnologias da I4.0 – Brasil .....	166
Quadro 22 - Maturidade da Implantação das Tecnologias da I4.0 – Estados Unidos .....	172
Quadro 23 - Maturidade da Implantação das Tecnologias da I4.0 – Alemanha .....	176
Quadro 24 - Critérios Competitivos por País.....	179
Quadro 25 - Maturidade de Implantação das Tecnologias por Classificação - Brasil .....	184
Quadro 26 - Maturidade de Implantação das Tecnologias por Classificação – Estados Unidos .....	185

Quadro 27 - Maturidade de Implantação das Tecnologias por Classificação – Alemanha .....	186
Quadro 28 - Conceitos adotados aos Critérios Competitivos .....	240
Quadro 29 - Quadro de Maturidade da Implantação das Tecnologias da I4.0 .....	241

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados da RSL nas Bases de Dados Seleccionadas .....	80
Tabela 2 - Resultados das Buscas por Estudos Primários.....	81
Tabela 3 - Preparação de Dados para o SPSS.....	134
Tabela 4 - Análise de Variância e Teste Bonferroni – Intra Variáveis (V2).....	135
Tabela 5 - Análise de Variância e Teste Bonferroni – Inter Variáveis (V3).....	136
Tabela 6 - Número de Citações de cada Categoria .....	149
Tabela 7 - Ações Definidas na Categoria de Conceitos - Divergências .....	150
Tabela 8 - Desdobramentos Definidos na Categoria de Conceitos – Convergências e Complementaridade .....	152
Tabela 9 - Ações Definidas na Categoria de Desenvolvimento do Artefato - Divergências.....	154
Tabela 10 - Desdobramentos Definidos na Categoria de Processo de Desenvolvimento – Convergências e Complementaridade.....	159

## LISTA DE SIGLAS

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i> – Processo Hierárquico Analítico
AI	<i>Artificial Intelligence</i>
AM	<i>Additive Manufacturing</i>
BDA	<i>Big Data Analytics</i>
BD	<i>Big Data</i>
CA	Análise de Cluster
CC	<i>Cloud Computing</i>
CIM	<i>Computer Integrated Manufacturing</i>
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CNPQ	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CPS	<i>Cyber-Physical Systems - Sistemas Físico-Cibernéticos</i>
CS	Cadeia de SuprimentosL
DSR	<i>Design Science Research</i>
FCM	Método <i>Fuzzy Clustering</i>
HW	Haves e Wheelwright
IEDI	Instituto de Estudos de Desenvolvimento Industrial
IM	<i>Injection molding</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
I4.0	Indústria 4.0
LNA	<i>Language network Analysis</i>
MP	<i>Machined Parts</i>
MVMM	<i>Manufacturing Value Modeling Methodology</i>
MES	<i>Manufacturing Execution Systems</i>
OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PB	<i>Petabyte</i>
PLCs	Controladores Lógicos Programáveis
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
RFID	Identificação por Rádio Frequência
RPA	<i>Robotic Process Automation</i>
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
TI	Tecnologia da Informação

TIC	<i>Information Computer Technology</i>
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
UEN	Unidade Estratégica de Negócios
UNCTD	<i>United Nations Conference on trade and Development</i>
UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos
WSNs	<i>Wireless Sensor Networks</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
1.1 OBJETO E PROBLEMA DE PESQUISA.....	22
1.2 OBJETIVOS .....	31
<b>1.2.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>31</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>31</b>
1.3 JUSTIFICATIVA .....	31
<b>1.3.1 Justificativa sob o Ponto de Vista Acadêmico</b> .....	<b>32</b>
<b>1.3.2 Justificativa sob o Ponto de Vista de Empresas</b> .....	<b>37</b>
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	39
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	39
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>41</b>
2.1 INDÚSTRIA 4.0 .....	41
<b>2.1.1 Principais Tecnologias da I4.0</b> .....	<b>47</b>
2.1.1.1 Tecnologias Habilitadoras .....	52
2.1.1.2 Tecnologias Integradoras.....	54
2.1.1.3 Tecnologias Aplicadoras .....	58
2.2 CADEIA DE VALOR.....	60
2.3 ESTRATÉGIA DE PRODUÇÃO .....	68
2.4 CRITÉRIOS COMPETITIVOS.....	73
2.5 PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS.....	86
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	<b>95</b>
3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	95
3.2 MÉTODO DE TRABALHO .....	103
3.3 COLETA DE DADOS .....	112
<b>3.3.1 Consulta a Especialistas</b> .....	<b>115</b>
3.4 ANÁLISE DOS DADOS.....	119
3.5 ESTUDO DE CASO – AVALIAÇÃO PRÁTICA DO <i>FRAMEWORK</i> .....	120
<b>4 PROPOSIÇÃO, DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DO ARTEFATO</b> .....	<b>121</b>
4.1 PROPOSIÇÃO DO ARTEFATO.....	121
<b>4.1.1 Versão V1 do Artefato</b> .....	<b>124</b>
<b>4.1.2 Versão V2 do Artefato</b> .....	<b>133</b>
<b>4.1.3 Versão V3 do Artefato</b> .....	<b>136</b>

4.1.3.1 Comparação das Priorizações .....	140
4.2 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO.....	147
<b>4.2.1 Avaliação do Artefato pelo Grupo Focal Especialistas – V3 .....</b>	<b>147</b>
4.2.1.1 Conceito – Análise das Divergências .....	149
4.2.1.2 Conceito – Análise das Convergências e Complementaridades .....	151
4.2.1.3 Processo de Desenvolvimento – Análise das Divergências .....	154
4.2.1.4 Processo de Desenvolvimento – Análise das Convergências e Complementaridades .....	158
<b>4.2.2 Avaliação do Artefato – Estudo de Caso - V3 .....</b>	<b>162</b>
4.2.2.1 Estudo de Caso – Ensinger Brasil.....	165
4.2.2.2 Estudo de Caso – Ensinger Estados Unidos.....	171
4.2.2.3 Estudo de Caso – Ensinger Alemanha.....	174
<b>5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>179</b>
<b>5.1 Dimensão Competitiva da Estratégia de Produção.....</b>	<b>179</b>
<b>5.2 Dimensão Tecnológica .....</b>	<b>181</b>
<b>5.3 Dimensão de Contexto.....</b>	<b>183</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>188</b>
6.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA .....	191
6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	192
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>194</b>
<b>APÊNDICE A - PROTOCOLO DE REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA..</b>	<b>213</b>
<b>APÊNDICE B - CONVITE ENTREVISTA – ETAPA DE PROPOSIÇÃO DO ARTEFATO.....</b>	<b>214</b>
<b>APÊNDICE C – ENTREVISTA – RELAÇÃO DO IMPACTO DO CRITÉRIO COMPETITIVO NA TECNOLOGIA DA I4.0.....</b>	<b>216</b>
<b>APÊNDICE D – LISTA DE ENTREVISTADOS – GRUPOS DE PESQUISAS .....</b>	<b>228</b>
<b>APÊNDICE E – LISTA DE ENTREVISTADOS – EMPRESAS DE CONSULTORIA .....</b>	<b>232</b>
<b>APÊNDICE F – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....</b>	<b>234</b>
<b>APÊNDICE G – PROTOCOLO DE ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>235</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A transformação digital apresenta um novo desafio às organizações. Por um lado, elas precisam lidar com a competitividade no ambiente em que atuam, e, por outro, é importante que absorvam o conjunto de tecnologias existentes para se manterem atualizadas e competitivas no mercado. Ao passo que novas tecnologias vão sendo criadas, é necessário que haja certa adequação das empresas em aderir às transformações que ocorrem no ambiente competitivo, as quais influenciam a maneira como as empresas se organizam, bem como as atividades que desempenham (PORTER; HEPPELMANN, 2014; SAUTER; BODE; KITTELBERGER, 2015; WEE; BAUR, 2015).

O ritmo do desenvolvimento e a adoção de novas tecnologias nas últimas décadas impulsionam as empresas a muitos desafios, seja pela natureza cumulativa da mudança tecnológica, seja pelo desenvolvimento exponencial e convergência de tecnologias e novas combinações, reduções rigorosas em custos e o surgimento de plataformas digitais (UNCTAD, 2018). A evolução exponencial e não linear dessas tecnologias causa ruptura nos padrões, trazendo mudanças sem precedentes da economia, dos negócios, da sociedade e dos indivíduos, causando um impacto sistêmico entre países, nas empresas e em toda a sociedade (SCHWAB, 2016).

O conjunto de modificações ocorridas dentro das organizações é chamado de “revolução”, que ocorre quando novas tecnologias ou novas formas de perceber o mundo desencadeiam um caráter disruptivo nas estruturas sociais e nos sistemas econômicos e, historicamente, pode levar anos para se desdobrarem em ações concretas (SCHWAB, 2016). A mudança tecnológica foi de grande importância no período de 1760 a 1830, em que o economista Thomas Ashton atribuiu o termo de “primeira revolução industrial” (CRAFTS, 1996). Esta revolução teve início na Grã-Bretanha e foi adaptada pela Europa e pelos EUA anos depois, tendo como principal motor a indústria têxtil.

Ao se analisar a indústria (especialmente a manufatura), faz-se relevante compreender como ela evoluiu e o que a levou ao seu estado atual, tendo em vista que, inicialmente, usava-se apenas a força do indivíduo. Desde então, a humanidade passou por várias mudanças, havendo modificações relevantes no processo de fabricação e produção, que antes era em sua maioria manual e depois passou a contar com a utilização de máquinas alimentadas por energia a vapor. Ademais, os

processos produtivos passaram a considerar o aumento da eficiência, contando com o uso de energia da água e do carvão, o qual passou a substituir o uso de biocombustíveis e da madeira (SABO, 2015).

Nos anos seguintes, a sociedade vivia a “segunda revolução industrial”, a qual ocorreu entre os anos 1840 e 1870 e foi fortemente ligada à produção em massa e à eletricidade, que causou um impacto significativo na produtividade no início do século XX. Além dos Estados Unidos, países como a Grã-Bretanha e a Alemanha implantaram mudanças que resultaram na aceleração do desenvolvimento industrial e no crescimento no padrão de vida. A “terceira revolução industrial” por sua vez marca a década de 70, também conhecida como “a revolução digital”, e está relacionada à mudança da tecnologia analógica para a tecnologia digital (SABO, 2015; SCHUH *et al.*, 2014).

Com a invenção de circuitos integrados que permitiram o aumento do poder computacional e a redução de custos continuamente e de maneira exponencial, a “terceira revolução industrial” desencadeou mudanças significativas na sociedade de forma geral ao permitir a adaptação da tecnologia da informação, possibilitando o crescimento econômico (SCHUH *et al.*, 2014). Nesse contexto, todas as revoluções industriais por meio da tecnologia impactaram o desempenho e a produtividade do trabalho a partir da criação de valor para as empresas, e, por consequência, ampliaram sua competitividade. De acordo com Perez e Elgar (2002), a difusão da revolução e do seu paradigma em toda a economia constitui uma grande onda de desenvolvimento que envolve a quebra de pressupostos fortemente estabelecidos, ocasionando mudanças nos critérios e princípios organizacionais.

Por fim, a “quarta revolução industrial”, protagonizada pela Alemanha, é conhecida como “Indústria 4.0” (I4.0), conceito que busca, além da otimização do processo operacional, a abrangência de serviços para diversas aplicações digitalizadas em rede (KAGERMANN; LUKAS; WAHLSTER, 2015). A I4.0 também é chamada de revolução tecnológica pela combinação de um conjunto de tecnologias digitais, tais como *Internet of Things* (IoT), *Big Data Analytics* (BDA), *Cyber-Physical Systems* (CPS), *Cloud Computing* (CC), *Robotic Process Automation* (RPA, entre outras.

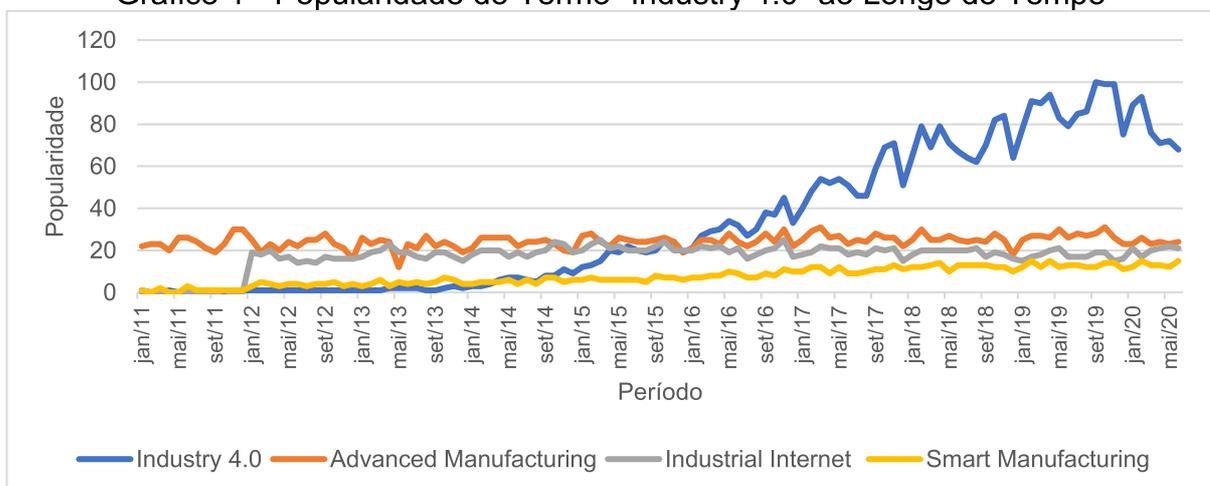
Com a implementação do programa I4.0, compreende-se que, no futuro, as empresas devem estabelecer novas configurações e formatos de cadeias globais que incorporem suas máquinas, sistemas de armazenagens e instalações de produção na

forma de Sistemas Físico-Cibernéticos (CPS – *Cyber-Physical Systems*) (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). Dessa forma, pressupõe-se que sejam observadas melhorias na gestão das empresas, uma vez que cada sistema será independente, capaz de compreender suas especificações e de se comunicar com outros sistemas, transferindo informações e possibilitando a tomada de decisão rápida e a obtenção de respostas independentes dos sistemas de manufatura. O programa da I4.0 também intenta resultar em novas formas de criar valor às organizações e incentivar o desenvolvimento de novos modelos de negócios (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

O termo Indústria 4.0 não é utilizado de forma unânime em um contexto mundial, pois alguns países nomeiam o novo paradigma com outros termos, tais como: “*Industry 4.0*” na Alemanha (KAGERMANN; LUKAS; WAHLSTER, 2015; LASI *et al.*, 2014), “*Advanced Manufacturing*”, “*Industrial Internet*” nos Estados Unidos, (BRUNER, 2013) e “*Smart Manufacturing*” na China, por exemplo (HERMANN *et al.*, 2015). Os diferentes termos são utilizados de maneira distinta geograficamente, entretanto, o termo “*Industry 4.0*”, que vem sendo mais utilizado em países que têm como idioma principal o alemão, tem ganhado espaço em âmbito mundial (LASI *et al.*, 2014).

Ao fazer uma comparação com os termos mais utilizados, “*Industry 4.0*” apresenta tendência crescente. Apresenta-se, no Gráfico 1, a pesquisa realizada no *Google Trends*, em que se comparou a popularidade dentre os quatro termos:

Gráfico 1 - Popularidade do Termo “Industry 4.0” ao Longo do Tempo



Fonte: Google Trends (2020, não paginado)

A busca das informações para o desenvolvimento do Gráfico 1 foi realizada a partir da inserção dos quatro termos no *Google Trends*, no período compreendido entre janeiro de 2011 e junho de 2020. Apesar da utilização anterior de outros termos, (sendo “*Advanced Manufacturing*” o mais antigo), o período escolhido como referência para o início da coleta deve-se ao fato de o termo “*Industry 4.0*” ter surgido no ano de 2011. Salienta-se também que os números são relativos, tendo em vista que o valor de 120 representa o ponto máximo de interesse no termo em um dado momento. Observa-se, no Gráfico 1, que as pesquisas pelo termo “*Industry 4.0*” apresentam uma tendência de crescimento, enquanto a busca pelos outros termos se mantém constante.

Dessa forma, esta pesquisa adota a expressão e o conceito da “Indústria 4.0” para caracterizar o novo paradigma da manufatura por ser o termo mais difundido mundialmente. Cabe observar que a digitalização e a transformação digital ocorrem nas organizações desde os anos 50 (HEAVIN; POWER, 2018). Atualmente, contudo, o conceito da I4.0 vai além da manufatura e é continuamente utilizado para descrever a transformação digital ou virtual dos negócios com o mundo físico, analógico ou real. A I4.0 foca no próximo estágio dos sistemas produtivos, situação em que os processos em rede, automatizados e inteligentes serão flexíveis e autoconfiguráveis (BRETTEL *et al.*, 2014; SCHNEIDER, 2018), de forma que melhora o desempenho industrial e permite a criação de novas fontes de receita (DALENOGARE *et al.*, 2018). A cadeia de valor permite conectar a lacuna e aumenta a produtividade da colaboração (por exemplo, entre pessoas, máquinas, sistemas, fornecedores, fábricas ou empresas) e também a ideia de que a rede da I4.0 é fortalecida verticalmente e horizontalmente (BRETTEL *et al.*, 2014).

Dessa maneira, as organizações dinâmicas, otimizadas em tempo real e auto-organizadas, apresentam um melhor desempenho em critérios competitivos, como custo, disponibilidade e consumo de recursos (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). As organizações buscam a transformação digital para otimizar processos, incluindo melhorias da qualidade, reduções de tempo nas operações, flexibilidade e redução de custos, que, por sua vez, melhoram processos e contribuem para as mudanças organizacionais (SZOZDA, 2017).

Compreender e explicar o papel estratégico da função de fabricação tem sido objetivo de longa data nas pesquisas de gerenciamento de operações (GONZALEZ-BENITO; LANNELONGUE, 2014). A origem da abordagem de alinhamento iniciou

com Skinner (1969) a partir da identificação da necessidade de se construir um alinhamento entre as políticas e capacidades da função de fabricação com a estratégia de negócios, sendo essencial para melhorar o desempenho dos negócios (HAYES; WHEELWRIGHT, 1985).

De acordo com Antunes Junior *et al.* (2008), é necessária uma análise aprofundada da estrutura da produção a partir da óptica do mecanismo da função produção. Além disso, é preciso que algumas perguntas sejam respondidas. Quais as melhorias mais relevantes para a estrutura de produção: aquelas ligadas à função processo<sup>1</sup>, ou aquelas associadas à função operação<sup>2</sup>? Ou essas melhorias são indiferentes quanto a seu grau de importância? A resposta proposta por Shingo (1986) é pragmática e direta, visto que propõe que as melhorias a serem priorizadas devem ter foco diretamente na função processo. Shingo (1986) complementa que a função processo permite atingir as principais metas de produção, enquanto as operações desempenham um papel suplementar.

Sendo assim, verifica-se que há uma necessidade da estratégia de negócios das empresas em se alinharem com o mecanismo da função produção e, conseqüentemente, com a necessidade de investimentos nas novas tecnologias existentes. Nesse contexto, surgem incertezas na tomada de decisão quanto à implantação e priorização das tecnologias da I4.0. Cabe mencionar que existem estudos que examinaram que o alinhamento da estratégia de fabricação com as prioridades competitivas leva a um melhor desempenho (RHO; PARK; YU, 2001). No entanto, observou-se, em estudos levantados nas revisões da literatura<sup>3</sup>, que ainda existe um *gap* nas pesquisas no que se refere à perspectiva de implantação e priorização de tecnologias para a I4.0 com relação à estratégia organizacional.

Diante desse cenário, a presente pesquisa pretende prosseguir com a discussão da priorização das tecnologias da I4.0, com a finalidade de colaborar com a literatura por meio da observação de abordagens diferentes para priorização de tecnologias para a I4.0. A priorização de tecnologias e sua relevância para as firmas

---

<sup>1</sup> Função Processo refere-se ao fluxo de materiais ou produtos, em diferentes estágios de produção, situação em que se pode observar a transformação gradativa das matérias primas em produtos acabados (ANTUNES JUNIOR *et al.*, 2008).

<sup>2</sup> Função Operação refere-se à análise dos diferentes estágios, nos quais os trabalhadores e/ou máquinas encontram-se relacionados ao longo de uma jornada de trabalho. Ou seja, que a função operação trata do fluxo do sujeito do trabalho – pessoas (trabalho vivo) e máquinas (trabalho morto) – no tempo e no espaço (ANTUNES JUNIOR *et al.*, 2008).

<sup>3</sup> É apresentada, na Seção 2.5, uma Revisão Sistemática da Literatura sobre Priorização de Tecnologias em que se buscou estudos aplicados na I4.0.

em diferentes países é um tópico importante, tendo em vista os diferentes contextos nacionais e os critérios competitivos de cada organização. Alguns estudos evidenciaram que as mudanças tecnológicas influenciam a indústria e o paradigma tecnológico (CASTELLACCI, 2008; NONAKA; TEECE, 2001). Nesse contexto, abre-se um espaço de discussão sobre quais tecnologias implantar e a ordem de implantação, de modo que ocasione uma nova forma de criar valor para a organização e até mesmo a criação de novos modelos de negócios, levando em consideração seus critérios competitivos.

Para Slack (1994), a manufatura deve estar alinhada com a maneira como os negócios competem no mercado, sendo que a elaboração da estratégia de fabricação consiste na idealização de políticas, planos e projetos que definam a direção da fabricação até se tornar a fonte de vantagem competitiva. Desse modo, ao buscarem vantagem competitiva, as organizações devem alinhar suas estratégias de operações aos critérios competitivos de maior relevância para seus clientes e para aqueles que possuem potencial de melhorar em relação à concorrência (SLACK; CHAMBERS; ROBERT JOHNSTON, 2008).

Com base no que foi exposto, o tema proposto nesta tese é **a priorização de implantação das tecnologias da I4.0 a partir da estratégia de produção para geração de valor da firma**. Apresentado o tema, na próxima seção, delineiam-se o objeto de estudo e o problema de pesquisa.

## 1.1 OBJETO E PROBLEMA DE PESQUISA

Apesar de sua importância, existem algumas barreiras quanto à implantação de sistemas da Indústria 4.0. As dificuldades encontram-se nos altos custos de investimento que estão relacionados com a I4.0 e no fato de não haver uma visão clara nem uma estratégia sobre como implementar esses sistemas de fabricação. Adicionalmente, deve-se considerar que o conhecimento sobre a utilização e os benefícios dessas tecnologias ainda são limitados (LIEBRECHT *et al.*, 2017). Ao considerar as inúmeras tecnologias da I4.0 e os custos desses investimentos, as empresas necessitam de instrumentos que as auxiliem tornando essa decisão de investimento mais assertiva e reduzindo as incertezas.

O Gráfico 2 apresenta os indicadores divulgados pela Confederação Nacional da Indústria - CNI (2021), sendo estes representados pelo percentual de grandes

empresas industriais que investiram ao longo do período de 2010 a 2020. Os investimentos foram em máquinas ou equipamento novos, máquinas usadas, manutenção ou atualização de máquinas, pesquisa e desenvolvimento, capacitação de pessoal e na melhoria da gestão do negócio.

Gráfico 2 - Percentual de Empresas que Investiram por Ano



Fone: CNI (2021, p. 8)

De acordo com os indicadores econômicos da CNI (2021), conforme evidencia o Gráfico 2, 69% das grandes empresas investiram em 2020, mas a proporção é cinco pontos percentuais inferior à registrada em 2019. Trata-se, portanto, da segunda menor série histórica, superando apenas os 67% de 2016. Outro ponto levantado no relatório é o grau de frustração com os planos de investimento, mais da metade (53%) das grandes empresas que tinha planos de investimento para 2020 realizou apenas parcialmente seus planos de investimento, adiou ou cancelou os investimentos.

No mesmo relatório, a CNI (2021) indica que os motivos que frustraram os planos de investimentos em 2020 foram a queda na demanda gerada pela pandemia e a incerteza. Esses aspectos influenciaram na avaliação dos investimentos em 2020, assim como no aumento inesperado do custo previsto do investimento, que tem relação com o aumento por conta de variação cambial e com a falta de alguns insumos e matérias-primas que causaram aumento nos custos, tornando-se um problema para as empresas.

Em outro contexto, Prado (2021) indica que as *startups* com soluções para a I4.0 levantaram no ano de 2020 US\$ 61,51 milhões em investimentos, evidenciando um crescimento significativo frente aos US\$ 11,66 milhões arrecadados no ano de

2019. Segundo o autor, o crescimento acelerado se deve à necessidade de digitalização das indústrias e ao aumento no número de *startups* do setor. Para alcançar os resultados da pesquisa, Prado (2021) mapeou 447 startups da categoria I4.0 no Brasil.

A I4.0 foi considerada uma nova fase industrial em que várias tecnologias emergentes estão convergindo para fornecer soluções digitais, porém a falta de entendimento quanto à implementação destas tecnologias torna-se um desafio para as empresas (FRANK; DALENOGARE; AYALA, 2019). Desse modo, é objeto de pesquisa de diversos estudiosos a implantação efetiva das tecnologias da I4.0 (BABICEANU; SEKER, 2016; DALENOGARE *et al.*, 2018; LEE; BAGHERI; KAO, 2015).

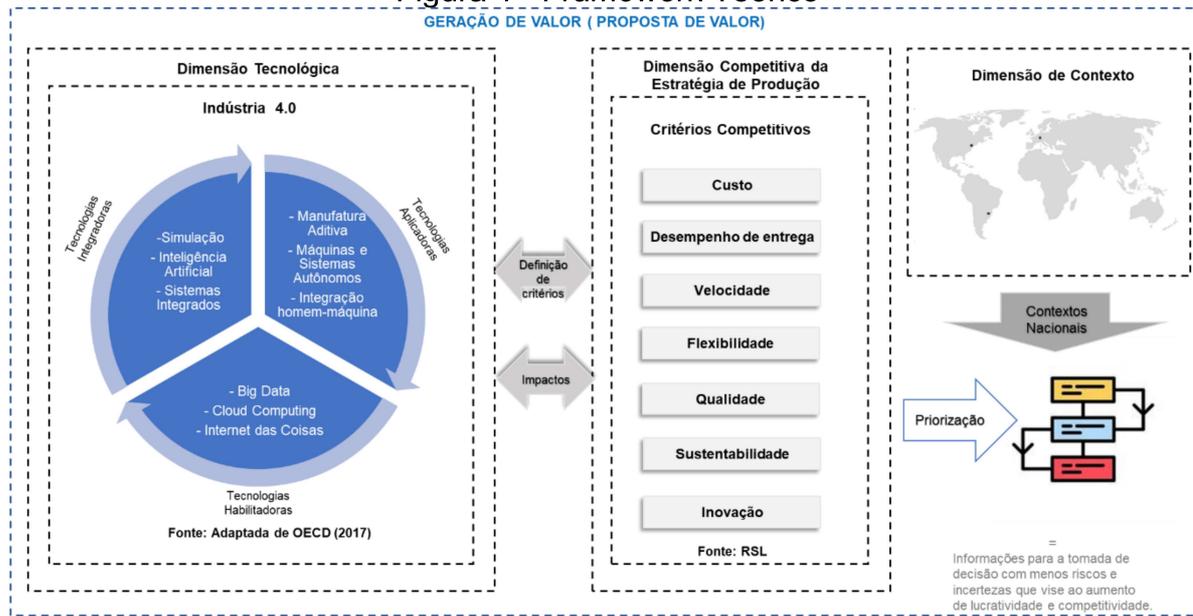
De acordo com Agermann, Wahlster e Helbig (2013), os processos se desenvolvem pela combinação de tecnologias digitais e de manufatura, os quais permitem a integração vertical dos sistemas da organização, integração horizontal em redes colaborativas e soluções ponta a ponta em toda a cadeia de valor (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OECD (2017) corrobora com a discussão ao indicar que, mesmo com o advento da I4.0, as organizações devem considerar que a utilização de tecnologias digitais ou infraestruturas de informações em separado não trarão benefícios significativos para as organizações. Dessa forma, a transformação digital não se refere somente ao surgimento de tecnologias, mas especialmente sobre a convergência e integração que podem oferecer (OECD, 2017). Assim sendo, observa-se a necessidade, do ponto de vista da empresa, em definir a priorização de tecnologias da I4.0 com expectativas de ganhos. Nesse sentido, os benefícios esperados mais citados na literatura são: redução de custos em quase todas as atividades operacionais, uso de recursos mais eficientes e aumento da competitividade (BERGER, 2016; KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

Com base nesse contexto, a pesquisa relaciona as tecnologias da I4.0 com a estratégia da organização e da produção por meio dos critérios competitivos. Com o *framework* concluído, ele é avaliado com um estudo de caso em três firmas do ramo da indústria plástica de alta performance de um mesmo Grupo em países distintos, como pode ser observado na Figura 1. Este protocolo busca suportar a pesquisa qualitativa deste estudo, parte da validação prática do *framework*. (estudo de caso). Etapa de avaliação do Artefato da DSR (*Design Science Research*).

A I4.0 foi considerada uma nova fase industrial em que várias tecnologias emergentes estão convergindo para fornecer soluções digitais, porém a falta de entendimento quanto à implementação destas tecnologias torna-se um desafio para as empresas (FRANK; DALENOGARE; AYALA, 2019). Desse modo, é objeto de pesquisa de diversos estudiosos a implantação efetiva das tecnologias da I4.0 (BABICEANU; SEKER, 2016; DALENOGARE *et al.*, 2018; LEE; BAGHERI; KAO, 2015).

De acordo com Agermann, Wahlster e Helbig (2013), os processos se desenvolvem pela combinação de tecnologias digitais e de manufatura, os quais permitem a integração vertical dos sistemas da organização, integração horizontal em redes colaborativas e soluções ponta a ponta em toda a cadeia de valor (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OECD (2017) corrobora com a discussão ao indicar que, mesmo com o advento da I4.0, as organizações devem considerar que a utilização de tecnologias digitais ou infraestruturas de informações em separado não trarão benefícios significativos para as organizações. Dessa forma, a transformação digital não se refere somente ao surgimento de tecnologias, mas especialmente sobre a convergência e integração que podem oferecer (OECD, 2017). Assim sendo, observa-se a necessidade, do ponto de vista da empresa, em definir a priorização de tecnologias da I4.0 com expectativas de ganhos. Nesse sentido, os benefícios esperados mais citados na literatura são: redução de custos em quase todas as atividades operacionais, uso de recursos mais eficientes e aumento da competitividade (BERGER, 2016; KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

Com base nesse contexto, a pesquisa relaciona as tecnologias da I4.0 com a estratégia da organização e da produção por meio dos critérios competitivos. Com o framework concluído, ele é avaliado com um estudo de caso em três firmas do ramo da indústria plástica de alta performance de um mesmo Grupo em países distintos, como pode ser observado na Figura 35. Trata-se da *sintetização do* framework teórico de pesquisa desta tese.

Figura 1 - *Framework* Teórico

Sendo a tecnologia o principal impulsionador da quarta revolução industrial, a grande quantidade de tecnologias associada à I4.0 é mencionada em muitos estudos, (PICCAROZZI; AQUILANI; GATTI, 2018; RÜSSMANN *et al.*, 2015; SCHWAB, 2016; UNCTAD, 2018), sendo um dos grandes impactos da I4.0 a interconectividade entre elas (OECD, 2017). Percebe-se, então, que as tecnologias de base permitem o emprego das tecnologias do topo. Essas tecnologias são: *Big Data*, *Cloud Computing* e Internet das Coisas e são apresentadas como tecnologias habilitadoras, pois habilitam as tecnologias do topo quando são integradas com tecnologias como simulação, Inteligência Artificial e sistemas integrados. Dessa forma, essa integração permitirá o desdobramento de tecnologias aplicadoras como a manufatura aditiva, máquinas e sistemas autônomos e integração homem-máquina (OECD, 2017). Nesta tese, chamar-se-á *dimensão tecnológica* as tecnologias habilitadoras, integradoras e aplicadoras.

Devido à sua grande quantidade de tecnologias, a I4.0 não impacta somente a organização, mas toda a Cadeia de Suprimentos (CS), pois vai além da “firma” de maneira isolada. Tendo em vista que os critérios competitivos podem ser definidos como as melhorias futuras que a organização pretende executar para se manter ou obter vantagem competitiva, Thüerer *et al.* (2014) adverte que é fundamental que as empresas conheçam os critérios competitivos impactados por “tais tecnologias”. A estratégia e o planejamento da organização de como implementar essas tecnologias impactam o negócio e, por consequência, o resultado. Corroborando, a falta de

capacidade para a reorganização e realocação de seus próprios recursos diante de um movimento estratégico pode colocar a empresa em risco (TOMASZEWSKI; LACERDA; TEIXEIRA, 2016).

A I4.0 tem um impacto sistêmico, sendo necessário que cada organização se posicione inclusive dentro de sua própria cadeia de suprimentos. Para Schwab (2016, p.13), o impacto sistêmico envolve uma transformação “de sistemas inteiros entre países e dentro deles, em empresas, indústrias e em toda a sociedade”. A concorrência entre organizações, o aumento das exigências de clientes juntamente com a pressão competitiva da globalização forçaram as empresas a garantirem que seus recursos estejam alinhados não apenas em todas as áreas funcionais, mas também em toda a CS (VACHON; HALLEY; BEAULIEU, 2009). Assim sendo, a competição nos negócios ultrapassa a firma, alcançando a cadeia de suprimentos e a concorrência nas CS (LEE; RIM, 2016).

Diante do exposto, a decisão de investimento se torna mais incerta para o tomador de decisões, porque geralmente não é possível repetir o mesmo investimento no mesmo ambiente econômico ao longo do tempo e em ambientes diferentes, obtendo os mesmos resultados. Dessa forma, é necessário que o tomador de decisão minimize seus riscos e incertezas, tendo em vista a importância de conhecer informações que sejam suficientes para a tomada de decisão, para que esta seja assertiva e contribua com o aumento da lucratividade e da competitividade da empresa. Então, surgem algumas questões: como as empresas priorizarão os investimentos nas tecnologias da I4.0? Quais são os critérios competitivos que as empresas levarão em consideração diante deste novo contexto tecnológico? De acordo com Rosenberg (2006, p. 164), “[...] o futuro tecnológico encontra-se, invariavelmente, envolto em incerteza [...]” e as empresas somente investirão se entenderem que, de alguma maneira, aumentarão seus lucros e sua competitividade.

De fato, o investimento sob incertezas envolve características como irreversibilidade, incerteza e tempo (DIXIT; PINDYCK, 2019). Assim, entende-se que as empresas investirão mais seguras se tiverem informações suficientes para associar uma probabilidade objetiva de ocorrência a um cenário mais conhecido e visível, sendo necessário um *framework* a ser seguido para implementação das tecnologias da I4.0.

Muitas vezes, pressionadas pelas mudanças tecnológicas e pela competitividade do mercado, as organizações devem realizar seus planejamentos e

investimentos de maneira muito rápida, sendo necessárias ferramentas e métodos para auxiliá-las. Ravichandran, Han e Hasan (2009) expõem que a pressão institucional é um dos principais impulsionadores dos investimentos em tecnologias da informação (TI). Portanto, percebe-se a importância do desenvolvimento de ferramentas para avaliar investimentos em tecnologia da informação, bem como identificar fontes de risco para o sucesso de decisões de investimento com a finalidade de garantir a relação custo-benefício e a resiliência da TI frente às estratégias de investimento.

Há uma necessidade por parte das empresas em tomar decisões diferentes de investimentos, levando em consideração o contexto nacional em que ela está inserida e a forma que planeja competir. Nesta tese, chama-se de dimensão de contexto, os diferentes países que a firma/empresa está localizada. A I4.0 é uma transformação de negócios, pois relaciona a eficiência produtiva com a redução de custos, melhoria da receita, permitindo que as empresas repensem sua relação com os clientes e deixem de vender somente produtos específicos e passem também a oferecer serviços e resultados. Ao fazerem isso, conseguem ter uma relação mais próxima com seus clientes, sendo possível aumentar sua margem de lucro no longo prazo, ao mesmo tempo em que cativam seus clientes com seus produtos e serviços novos.

Antunes Junior *et al.* (2008) expõem que é necessário compreender que a competitividade passa pelo melhor aproveitamento dos recursos, sendo o aumento da eficiência um aspecto central, mas principalmente pelo valor agregado e pela diferenciação de produtos, a inserção internacional e a inovação. Também explicam que a utilização efetiva dos ativos fixos (máquinas e equipamentos) é baixa na indústria brasileira, e que o custo total para a compra de máquinas no Brasil é de 53,84% a mais que nos Estados Unidos e Japão.

Neste ínterim, o contexto em que as empresas brasileiras (e as demais economias emergentes) estão inseridas é ressaltado, tendo em vista os desafios que enfrentam frente à emergência da Indústria 4.0. Conforme o Instituto de Estudos de Desenvolvimento Industrial - IEDI (2021), ainda que a nova revolução industrial traga ganhos importantes sobre vários aspectos para todos, é um momento de atenção para os países emergentes, pois, nas últimas décadas, a América Latina apresentou uma performance inferior em comparação a outras regiões em desenvolvimento, especialmente em relação ao Leste Asiático. A automação dos sistemas produtivos por meio de robôs cada vez mais inteligentes tende a ser maior em economias mais

desenvolvidas do que nas economias emergentes. Muitos empregos, sobretudo em atividades rotineiras, devem desaparecer nos países de renda alta, sendo compensado com novos postos de trabalho e elevada produtividade. No entanto, é razoável compreender que as economias emergentes não ficarão imunes, visto que podem ser afetadas pela retomada de empresas transnacionais dos países ricos (IEDI, 2021).

De outra forma, as empresas não conseguem competir com os mesmos critérios competitivos no Brasil, Estados Unidos da América (EUA) e Alemanha, por exemplo. Nesta tese, nomeia-se de dimensão competitiva da estratégia de produção os critérios competitivos que a empresa compete. Cabe dizer que, nos anos 70, a maior parte da concorrência nos EUA era baseada em preço, dentro de determinada indústria, níveis de defeitos, variedade de linhas de produtos, tempo de entrega e a taxa de lançamentos de novos produtos era similar entre as indústrias, tornando-se critérios neutros até onde a diferenciação competitiva era considerada (HAYES *et al.*, 2008).

Nos anos de 1980, como resultado, a qualidade se tornou objetivo na Ford e em muitas outras empresas que buscavam alcançar os concorrentes estrangeiros. Em 1990, por sua vez, a flexibilidade passou a responder as exigências dos clientes por produtos customizados e, no final do século XX, muitas empresas reduziram a diferença de qualidade, flexibilidade e velocidades entre elas mesmas e suas concorrentes. E, assim, em um mundo no qual os preços estavam sob pressão e a recente mão-de-obra de baixo custo da China, Europa Oriental, Índia e América Latina gerava novas maneiras de reduzir custos, o menor custo ressurgiu em muitas indústrias como a principal base de competição (HAYES *et al.*, 2008).

De acordo com Antunes Junior *et al.* (2008), existem diferenças consideráveis entre as condições competitivas enfrentadas por empresas em diferentes países. Os autores citam três aspectos, em especial, que consideram chave para o projeto de sistema de manufatura competitivo, que são: escala de produção do mercado interno (considerando a proporção com o volume observado em relação a mercados dos países desenvolvidos), diversidade de produtos e custo relativo dos fatores de produção.

Quanto à escala de produção, os autores Antunes Junior *et al.* (2008) exemplificam com a indústria automobilística brasileira, principal cadeia industrial em se tratando de faturamento, e comparam o mercado brasileiro com o dos Estados

Unidos, que apresentam um escala de produção aproximadamente dez vezes maior que a do Brasil. Além das questões referentes à escala, também houve a entrada de novos competidores no mercado, ampliando a variedade de produtos no final da década de 1990. Cabe acrescentar que o volume de produção diminuiu, mas a variedade de itens impactou toda a cadeia de suprimentos.

Ao comparar o Brasil com os países desenvolvidos (Estados Unidos, Japão e Europa), os custos do fator trabalho (mão-de-obra) são inferiores. No Brasil, os valores foram obtidos junto ao sindicato do ABC paulista que se situam bem acima da média real do país, mesmo assim, o custo da mão-de-obra no Brasil equivale a 17,44% do custo dos Estados Unidos que foi o maior custo apresentado, e o segundo maior custo ficou com o Japão que equivale a 82,42% do custo dos Estados Unidos. O Brasil, em relação ao Japão, equivale a 21,16% de seu custo de mão-de-obra (ANTUNES JUNIOR *et al.*, 2008).

Diante do exposto, estratégias sustentáveis de longo prazo, tanto para o desenvolvimento do país como para a competitividade das empresas industriais, necessitam de eficiência nas operações com inovação, a fim de propiciar a criação de valor e uma mudança no patamar da indústria (ANTUNES JUNIOR *et al.*, 2008). Cabe salientar que, para Osterwalder (2004), a proposta de valor consiste nas ofertas que a empresa faz que são valorizadas pelo cliente. Sendo assim, a proposta de valor está diretamente ligada à estratégia do negócio. A proposta de valor impacta, então, as operações, e a definição de seus critérios competitivos para cada contexto nacional direcionará a empresa em seus investimentos.

A priorização de tecnologias e sua relevância para as indústrias ou nações têm sido um tema interessante e abordado na quarta revolução industrial, com o propósito de aplicar critérios e medir a relevância ou a criticidade das tecnologias para instigar a competitividade (MILES; SARITAS; SOKOLOV, 2016). Dessa forma, a priorização de tecnologias pode auxiliar as empresas a implementar as tecnologias da I4.0 em diferentes contextos, sendo que a priorização foi apresentada como relevante pelos autores, porém se faz necessária a sistematização de um *framework* para guiar as discussões de priorização de investimentos em I4.0.

A fim de desenvolver um *framework* para priorização de implantação das tecnologias da I4.0, a partir da estratégia de produção para a geração de valor da firma, esta pesquisa visa contribuir com evidências empíricas sobre como essas tecnologias podem ser adotadas nas empresas em diferentes contextos nacionais.

Levando-se em consideração o contexto apresentado, emerge o seguinte problema de pesquisa: **Como seria um *framework* teórico para a priorização das tecnologias da I4.0 a partir da estratégia de produção para a geração de valor da firma?**

Na próxima seção, delinham-se o objetivo geral e os objetivos específicos.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta tese é propor um *framework* teórico para priorização de implantação das tecnologias da I4.0 a partir da estratégia de produção para a geração de valor da firma.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Para atender ao objetivo geral, listam-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Identificar na literatura os critérios competitivos e as principais tecnologias da I4.0 e validar com especialistas.
- b) Validar o *framework* a partir da consulta a especialistas.
- c) Avaliar o *framework* proposto com um grupo focal de um estudo de caso em uma firma em diferentes contextos nacionais.

Na seção 1.3, são apresentados os argumentos que justificam esta pesquisa.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Na sequência, é apresentada a justificativa para esta pesquisa. Inicialmente, é discutida a justificativa sob o ponto de vista acadêmico e, posteriormente, são apresentados os argumentos sob a ótica empresarial. A justificativa deste trabalho apresenta o caráter de originalidade da tese e suas contribuições para a academia e para as organizações.

### 1.3.1 Justificativa sob o Ponto de Vista Acadêmico

O presente trabalho foca na proposição de um *framework* teórico para priorização de implantação das tecnologias da I4.0 a partir da estratégia de produção, sendo que o tema priorização de tecnologias é um tema frequentemente citado como demonstra a Revisão Sistemática de Literatura (RSL) completa sobre Priorização de Tecnologias (item apresentado na seção 2.5), mas não é explorado na literatura a priorização de tecnologias da I4.0; demonstrando, com isso, a relevância do tema do ponto de vista acadêmico.

Relevância pode ser entendida como a relação entre dois elementos. O primeiro elemento é o documento, a pesquisa, a informação que está sendo comunicada e o segundo elemento é o leitor, a comunidade, ou seja, aquele que tem um problema ou uma lacuna a ser respondida (MIZZARO, 1997). Para Starkey e Madan (2001), relevância se entende como a capacidade de o conhecimento que foi produzido ter um impacto significativo, também, no contexto prático.

Para a verificação desses critérios, foi realizado o procedimento de Revisão Sistemática de Literatura (RSL) proposto por Morandi e Camargo (2015). O procedimento teve início com o protocolo de RSL<sup>4</sup> que é apresentado no Apêndice A deste estudo.

Expostas estas premissas sobre o conceito de relevância, apresentam-se, a seguir, os critérios de relevância desta pesquisa: i) o tema deve estar sendo abordado pela comunidade acadêmica na qual está inserido; ii) os trabalhos publicados devem apresentar lacunas que possam ser ao menos parcialmente respondidas pela pesquisa; iii) a pesquisa deve ser original, ou seja, não devem existir pesquisas anteriores que respondam adequadamente à questão de pesquisa formulada. Sendo assim, buscou-se na literatura pesquisas que aplicaram a priorização de tecnologias. Desse modo, o Quadro 1 traz, resumidamente, os resultados de alguns desses estudos<sup>5</sup>.

---

<sup>4</sup> A RSL completa sobre Priorização de Tecnologias está na Seção 2.5 desta tese.

<sup>5</sup> A origem desses estudos é a Revisão Sistemática da Literatura da Seção 2.5 desta tese.

Quadro 1 - Levantamento de Estudos para Priorização de Tecnologias

Estudo	Método	Resultado
<p>The Prioritization of Technologies in a Research Laboratory (MELACHRINOUDIS; RICE, 1991)</p>	<p>Modelo Matemático usando o processo de hierarquia analítica de Saaty (AHP). Estudo de caso no laboratório de tecnologia de matérias do exército dos Estados Unidos.</p>	<p>Uma representação hierárquica consistindo em vários níveis de critérios e tecnologias foram construídos. Embora o modelo de priorização tenha sido desenvolvido especificamente para o exército, toda a abordagem, incluindo a seleção de critérios, a determinação de pesos e classificações é geral e pode ser utilizada com pequenas modificações para avaliar e classificar tecnologias em outros laboratórios de pesquisa.</p>
<p>A scoring method for prioritizing non-mutually-exclusive Information Technologies (KIM; WEN; RICH, 2009)</p>	<p>Método <i>Fuzzy Clustering</i> (FCM) para Análise de Cluster (CA) para extrair as correlações entre as tecnologias da informação. Estudo de caso na agência governamental asiática.</p>	<p>Primeiramente, foi um novo método de pontuação integrado para priorização de tecnologia da informação, a fim de ajudar os governos no mundo real na tomada de decisão. Segundo, é um método de pontuação proposto que combina a priorização de TI com um problema limitado de alocação de recursos. Terceiro, usando Delphi, Hierarquia Analítica de Processo (AHP) e CA, são extraídos os fatores quantitativos e qualitativos da tomada de decisão para priorização de TI e alocação de recursos. Quarto, o método de pontuação é baseado nas correlações mútuas das TIs, permitindo que os gerentes considerem as correlações mútuas das TIs durante o processo de priorização e desenvolvimento estratégico. Enfim, foi feito um modelo matemático que converte facilmente variáveis qualitativas em medições quantitativas comparáveis. Essas melhorias fornecem uma abordagem de tomada de decisão mais eficaz.</p>
<p>Facilitating Technology Development Progression through Quantitative Uncertainty Assessments (GATIAN; MAVRIS, 2014)</p>	<p>Modelagem baseada em Física e teste de problema.</p>	<p>Observou-se no estudo duas formas principais de priorizar as tecnologias para experimentação e avaliações de incerteza. Primeiramente, as tecnologias podem ser comparadas em relação à quantidade de incerteza e seu impacto no desempenho. A segunda maneira pela qual as tecnologias podem ser comparadas em relação a como suas incertezas impactam o objetivo no nível do sistema. Ou seja, tecnologias que contribuem para a variabilidade geral do objetivo do sistema. Então, pode ser dada uma prioridade mais alta se for importante identificar o desempenho do sistema o mais rápido possível. Este estudo forneceu uma demonstração completa das diferentes maneiras sobre como os resultados obtidos de um ambiente baseado em física podem ser utilizados para suporte à decisão de experimentação.</p>

<p>Metodología para la priorización de tecnologías emergentes de recobro mejorado químico (DELGADILLO AYA <i>et al.</i>, 2018)</p>	<p>Estudo de Caso e análise a partir de modelo matemático em uma indústria petrolífera colombiana.</p>	<p>Metodologia finaliza com a avaliação tecnológica que é feita com base dos dados da identificação das tecnologias e dos critérios de avaliação. Com isso, os autores obtiveram um vetor que indica uma pontuação total para cada tecnologia, sendo possível a classificação e subsequente priorização. A priorização de tecnologias emergentes foi aplicada com modelo matemático como alternativa ao aumento do fator de recuperação e incorporação de reservas em ativos colombianos.</p>
<p>The prioritization of technologies and public R&amp;D roles between the manufacturing and service industries in the fourth industrial revolution (KANG; KIM; SEOL, 2019)</p>	<p>Duas rodadas de pesquisas Delphi foram projetadas para atender ao objetivo do estudo, que usou técnicas rigorosas de triangulação. O método Delphi foi combinado com o método de <i>brainstorming</i> na pesquisa Delphi na primeira rodada, enquanto a pesquisa Delphi na segunda rodada focou em julgamentos de especialistas. Finalmente, a análise da rede de linguagem foi realizada nas propriedades da tecnologia e funções públicas de P&amp;D para complementar as análises de dados sobre priorização.</p>	<p>Os autores identificaram diferentes priorizações de cinco tecnologias-chave semelhantes em cada indústria, evidenciando diferentes impactos tecnológicos para as duas indústrias na Quarta Revolução Industrial. <i>Smart Factory</i> é a primeira prioridade na indústria de manufatura, enquanto a inteligência artificial é a primeira prioridade na indústria de serviços. As propriedades das três tecnologias comuns: inteligência artificial, <i>Big Data</i> e a Internet das coisas em ambos os setores são resumidos em hiper inteligência sobre hiper conectividade.</p>
<p>Resilience of business strategy to emergent and future Conditions (QUENUM <i>et al.</i>, 2019)</p>	<p>Estudo de Caso com participação diversa (múltiplas opiniões) sobre tecnologia da informação na carteira de investimentos do Departamento de Comércio dos Estados Unidos.</p>	<p>Os autores utilizaram a correlação de Spearman, e chegaram à classificação dos investimentos, com uma avaliação das perspectivas dos sistemas e uma determinação da resiliência em todas as perspectivas, mas sinalizaram que o ajuste nos pesos dos critérios dos sistemas pode ser explorado nos resultados.</p>

Fonte: Elaborado pela autora

A partir da análise dos estudos apresentados no Quadro 1, não foram identificados estudos que articulem um *framework* para a priorização de implantação das tecnologias da I4.0. Vale pontuar que o estudo de Kang, Kim e Seol (2019) trata da priorização de tecnologias na I4.0, mas não tem objetivos que se assemelham aos objetivos da presente tese. O estudo apresenta como objetivo revelar as semelhanças e diferenças entre indústrias de manufatura e serviços na priorização de tecnologias e pesquisa e desenvolvimento (P&D) público, complementando os dados de priorização com uma análise das propriedades das tecnologias e dos papéis públicos de pesquisa e desenvolvimento alcançados pelo *Language network analysis* (LNA) no contexto da quarta revolução industrial. O julgamento de especialistas e a triangulação utilizados neste estudo são pontos fortes identificados na pesquisa de Kang, Kim e Seol (2019).

Os autores Melachrinoudis e Rice (1991) desenvolveram um modelo matemático para combinar as tecnologias e suas classificações para priorização de tecnologia em sua pesquisa, mas pontuam que, com pequenas modificações, seu modelo pode avaliar e classificar tecnologias em outros laboratórios de pesquisa. Entende-se este como um ponto importante para a presente pesquisa, pois a tomada de decisão de investimentos precisa ser mais assertiva, e, para isso, as organizações necessitam de um método replicável, que auxilie de maneira mais rápida os processos decisórios.

No estudo de Kim, Wen e Rich (2009), os autores apresentam um método de pontuação que incorpora correlações de tecnologias da informação em seu processo de priorização. Vale destacar que seu método permitiu priorizar e alocar recursos com sucesso. Além disso, a implementação de um método de priorização proporcionou uma tomada de decisão ágil e eficaz, sendo um ponto importante levantado pelos autores.

Cabe reforçar que as organizações buscam cada vez mais minimizar as suas incertezas, e o estudo de Gatian e Mavris (2014) tem como objetivo demonstrar como as informações de quantificação da incerteza podem ser usadas para ajudar decisões de planejamento de experimentos. Nesse sentido, Gatian e Mavris (2014) realizaram suas análises por meio de uma modelagem do sistema de aeronaves baseada em física. Como resultado, apresentaram uma priorização de tecnologias de acordo com a quantidade de incerteza em torno dos impactos da tecnologia e do efeito que as incertezas têm no sistema e em objetivos que podem ser alcançados.

Por meio da seleção, leitura e análise destes artigos, observou-se que a priorização de tecnologias foi base para o desenvolvimento das pesquisas e que todos contribuem de alguma forma para a presente tese. Dentre as contribuições, ressaltam-se aspectos que podem auxiliar no *framework* teórico proposto e a identificação de lacunas na literatura que ainda não foram estudadas. Como exemplo, salienta-se a lacuna encontrada no estudo de Delgadillo Aya *et al.* (2018), tendo em vista que a validação de critérios de priorização utilizados na pesquisa foi realizada somente por pessoas da empresa. Nesse caso, para um maior rigor, validade e confiabilidade, teria que ser submetida a especialistas fora da organização estudada.

No estudo de Quenum *et al.* (2019), foi usada a correlação de Spearman. Tais autores chegaram a uma priorização de tecnologias utilizando quatro perspectivas de sistemas: limitações fiscais, avanços tecnológicos, violação de dados e influência política. Os critérios utilizados para avaliar os investimentos foram: execução da missão, inovação, colaboração, eficiência em custos e segurança. A metodologia introduzida foi o estudo de caso e a participação diversa de múltiplas opiniões com diferentes conhecimentos, sendo este ponto importante na validação dos critérios e perspectivas.

Com o objetivo de verificar o caráter de originalidade desta tese, e assim avaliar o terceiro critério de relevância, não foram identificados, na RSL feita e nos seis artigos lidos e selecionados, dos trabalhos apresentados por Delgadillo Aya *et al.* (2018), Kang, Kim e Seol (2019), Kim, Wen e Rich (2009), Gatian e Mavris (2014), Quenum *et al.* (2019) e Melachrinoudis e Rice (1991), trabalhos cujo objetivo fosse semelhante ao objetivo de pesquisa proposto por este estudo. O trabalho de Kang, Kim e Seol (2019) é o único estudo que abordou a priorização de tecnologias, uma vez que o objetivo era revelar as semelhanças e diferenças entre indústrias de manufatura e serviços na priorização de tecnologias e pesquisa e desenvolvimento público, no contexto da quarta revolução industrial. Entretanto, não abordam os seguintes aspectos que indicam como esta tese contribui em termos acadêmicos: i) a priorização de tecnologias não leva em consideração a estratégia de produção por meio de critérios competitivos; ii) não estabelecem relação entre critérios competitivos e as tecnologias da I4.0; iii) as priorizações não avaliam o efeito do método em diferentes contextos (países); iv) não abordam a priorização das tecnologias a partir da estratégia de produção para geração de valor da firma; e v) não abordam a estratégia de produção para discussão e priorização de investimentos em novas tecnologias.

Desse modo, destacam-se os aspectos citados como contribuições adicionais aos trabalhos realizados até o momento. Assim sendo, esta pesquisa avança no sentido de propor um *framework* teórico para priorização de tecnologias da I4.0 a partir da estratégia de produção para a geração de valor da firma e, por consequência, contribuir para a estratégia das organizações.

### **1.3.2 Justificativa sob o Ponto de Vista de Empresas**

Frank, Dalenogare e Ayala (2019) afirmam que é importante para os gestores conhecerem os requisitos para a implementação da I4.0, uma vez que ainda existe uma incerteza considerável sobre a I4.0. Para os autores, há uma falta de compreensão de como as empresas implementam essas tecnologias. Como resultado para as empresas, mostraram que a implementação das tecnologias de base é desafiadora, sendo que *big data* e *analytics* ainda são pouco implementadas. Nesse sentido, os autores propuseram uma estrutura em camadas de tecnologia da I4.0, bem como os níveis de adoção das tecnologias e suas implicações para as empresas de manufatura.

A sociedade está vivendo um período de transição, sendo percebido pelas empresas de forma geral, em que as tecnologias oriundas da quarta revolução industrial culminam em transformações significativas do ponto de vista econômico, social e do dia a dia das organizações (GRYNOL, 2012; PÎRJAN; PETROȘANU, 2013). Assim sendo, esta pesquisa visa direcionar os gestores e tomadores de decisão a investirem de maneira mais assertiva na aquisição das tecnologias a partir da visão estratégica da empresa, por meio dos critérios competitivos de forma a aumentar seus lucros e ao mesmo tempo encantar os clientes com os produtos e serviços novos.

O estudo de Klingenberg, Borges e Antunes (2019) expõem que foram levantadas na literatura as tecnologias mais frequentes, e, das 111 tecnologias identificadas no corpus, apenas cinco aparecem com mais frequência, como: CPS, IoT, BD, *Big Data Analytics* e CC. De acordo com Rübmann (2015), o cenário apresenta um conjunto de nove tecnológicas, sendo que cada uma com elevado grau de investimento e características distintas e complementares. Desse modo, com o crescimento dessas tecnologias no mercado, o processo de seleção, escolha e

priorização em um contexto de escassez de recursos financeiros se torna ainda mais relevante.

Levando em consideração que o poder de investimento das organizações é reduzido e que o custo de aquisição das tecnologias apresentadas ainda é significativo, faz-se necessário o desenvolvimento de ferramentas de apoio à tomada de decisão para as organizações, principalmente do ponto de vista estratégico.

Entretanto, os métodos e modelos de priorização para escolha e implantação de tecnologias existentes, encontrados na literatura a partir do processo de RSL, não levam em consideração os aspectos estratégicos das organizações, tampouco a estratégia de produção e geração de valor com base nos critérios competitivos. Com a finalidade de suprir o *gap* identificado, considera-se que, para que as organizações alcancem vantagem competitiva de maneira sustentável, é necessário que estas se diferenciem de seus concorrentes (HUM; LEOW, 1996; MANZINI *et al.*, 2004; SLACK; LEWIS, 2009). Uma das maneiras de realizar essa diferenciação é por meio dos critérios competitivos. Esse ponto é destacado nesta pesquisa, sendo premissa para a proposta do *framework* teórico para a priorização. Dessa forma, cabe reiterar que o presente trabalho desenvolve a construção do *framework* teórico para a priorização das tecnologias da I4.0 a partir da estratégia de produção por meio dos critérios competitivos.

A proposta nesta pesquisa contribui da seguinte forma para o contexto empresarial: para as empresas (firmas), a partir da proposição de um *framework* teórico para priorização de implantação de tecnologias da I4.0, estabelece-se a relação entre critérios competitivos e as tecnologias da I4.0. Ademais, contribui-se também por apresentar certa flexibilidade no *framework*, a fim de que possa ser aplicado em contextos diferentes (empresas e países). Em outras palavras, busca-se auxiliar as empresas a tomarem decisão de modo mais ágil e assertivo, a partir de sua estratégia de produção levando em consideração os seus critérios competitivos.

Em síntese, o *framework* para priorização busca trazer às organizações uma maior assertividade nos seus investimentos (reduzindo erros e proporcionando maior confiabilidade nas decisões de investimentos) com base naquelas tecnologias que tragam uma geração de valor por parte da firma e que possa ser percebida pelos seus clientes com base nos critérios competitivos. Dessa maneira, verifica-se ser pertinente trazer a componente proposta *de valor*, sendo ele o motivo pelo qual os clientes

escolhem a empresa estudada ou outra, juntamente com a questão da estratégia de produção para a discussão e priorização de investimentos em novas tecnologias.

A seguir, apresenta-se a delimitação desta pesquisa.

#### 1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

O método de pesquisa utilizado, a *Design Science Research* (DSR), consiste em utilizar os conhecimentos descritivos e prescritivos existentes para criar um novo conhecimento prescritivo (GREGOR; HEVNER, 2013; MARCH; SMITH, 1995). A DSR é utilizada nas pesquisas como forma de diminuir o distanciamento entre teoria e prática (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015).

Sendo assim, o presente estudo busca propor um *framework* teórico para priorização de implantação das tecnologias da I4.0 a partir da estratégia de produção para a geração de valor da firma por meio de critérios competitivos<sup>6</sup>. Outro ponto a ser destacado é que o *framework* é genérico, e o estudo de caso foi aplicado em uma indústria de plásticos de alta performance em diferentes países, mas não será testado em outros segmentos e em outras empresas.

Ao mesmo tempo em que uma discussão profunda é relevante, não foi objetivo desta tese analisar o cenário macroeconômico, político e social da firma objeto do estudo de caso. Nesse sentido, o detalhamento do artefato é suficiente, não demasiado. Buscou-se, por meio dos especialistas, contribuições e discussões para a geração de aprendizado e alinhamento de diferentes visões. Simon (1981) expõe que um *framework* deve manter a simplicidade, para que sua utilização seja fácil.

Nesse sentido, o *framework* proposto neste trabalho satisfaz o problema em questão. Portanto, esta pesquisa deve ser vista como um instrumento que contribuirá para as empresas tomarem decisões de investimentos e para o campo de estudos da I4.0, e não como uma proposição de teoria.

#### 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A tese está organizada em cinco capítulos. O primeiro, de caráter introdutório, trata da contextualização do tema e aborda aspectos relacionados às Revoluções

---

<sup>6</sup> O conceito de critérios competitivos adotado para esta tese é o de Skinner (1974), segundo o qual os critérios competitivos são os fatores avaliados pelos clientes quando da decisão de compra. Cada um destes fatores influencia para a decisão, possuindo uma relevância diferente na decisão do consumidor.

Industriais até a Indústria 4.0 que culminou numa revolução tecnológica, gerando impactos na economia e na sociedade, com o intuito de sustentar a questão de pesquisa. Neste capítulo introdutório, também são apresentados o problema e os objetivos do estudo, seguidos da relevância e delimitação da pesquisa.

O segundo capítulo expõe conceitos, discorrendo sobre a Quarta Revolução Industrial, a I4.0, Cadeia de valor, Estratégia de produção, Critérios competitivos, Priorização de Tecnologias e, também, a relação desses temas com a I4.0.

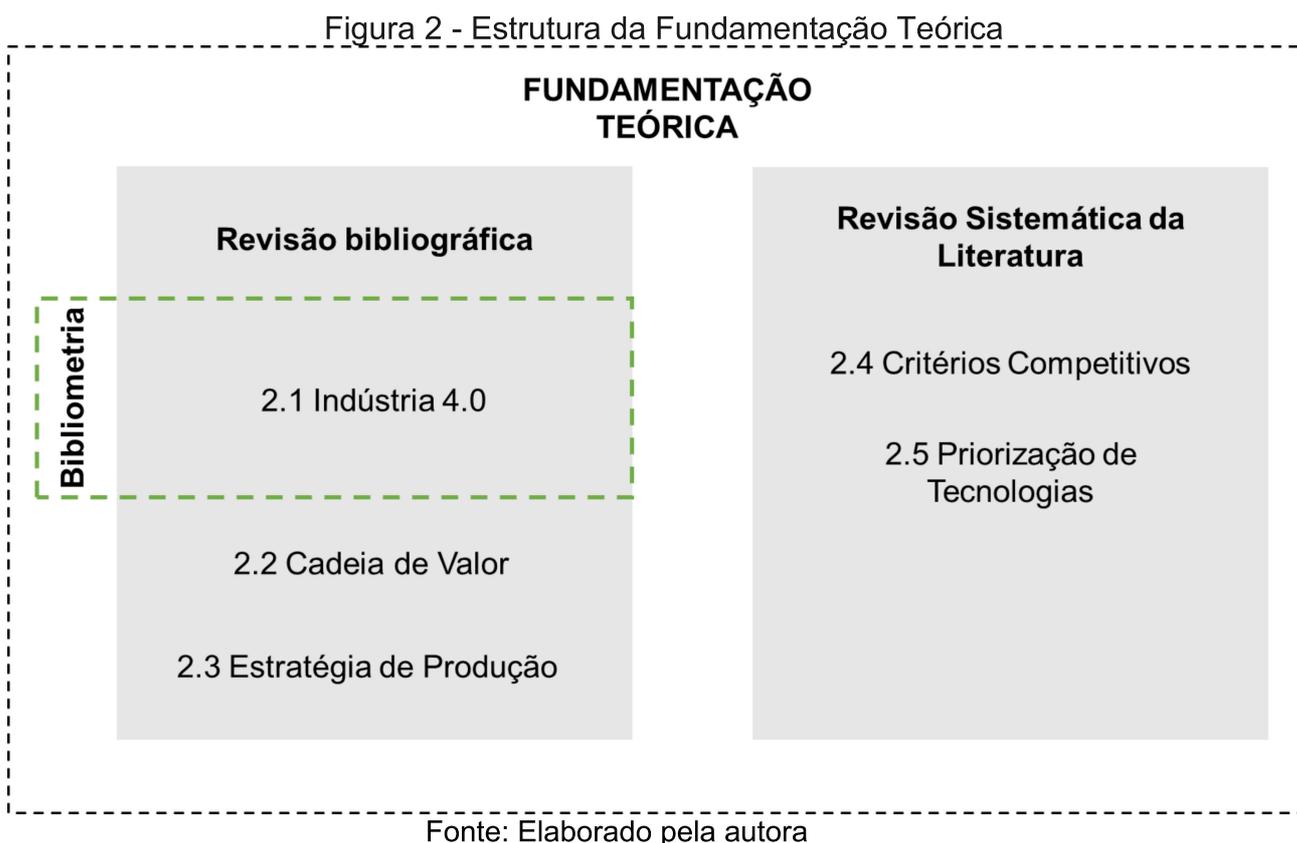
No terceiro capítulo, são explicados os procedimentos metodológicos utilizados nesta pesquisa, a fim de caracterizá-la e de esclarecer as etapas executadas. Para tanto, são realizados o delineamento da pesquisa, do método de trabalho, do procedimento de coleta de dados e dos procedimentos de análise de dados.

No capítulo quatro, são efetuadas as análises dos dados e se apresentam os resultados das diferentes etapas da presente pesquisa. Esta seção aborda as etapas de proposição, desenvolvimento e avaliação do artefato, nas quais se mostram as diferentes versões do *framework* resultantes dos procedimentos aplicados.

No capítulo quinto, são realizadas as discussões dos resultados do estudo. Por fim, no sexto capítulo, são apresentadas as considerações finais deste estudo, seguidas das limitações da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem o objetivo de contextualizar os principais elementos conceituais da presente pesquisa. Para tanto, a revisão de literatura apresenta conceitos que estão direcionados ao tema proposto. Dessa forma, ilustra-se a estrutura da fundamentação teórica que embasa este estudo na Figura 2.



A fundamentação teórica é dedicada a explorar os conhecimentos descritivos e prescritivos existentes pertinentes ao problema de pesquisa. Este capítulo está organizado em cinco subcapítulos.

### 2.1 INDÚSTRIA 4.0

Nos séculos XVIII e XIX, ocorreram as revoluções industriais que impulsionaram a utilização da energia inorgânica e a aceleração da utilização de instrumentos mecânicos (ambos com capacidade suficiente para substituir a energia e a capacidade humana). Adicionalmente, o período foi marcado pela evolução nos métodos de obtenção e produção de matérias-primas (DATHEIN, 2003). Posteriormente, na segunda revolução industrial, observaram-se os saltos

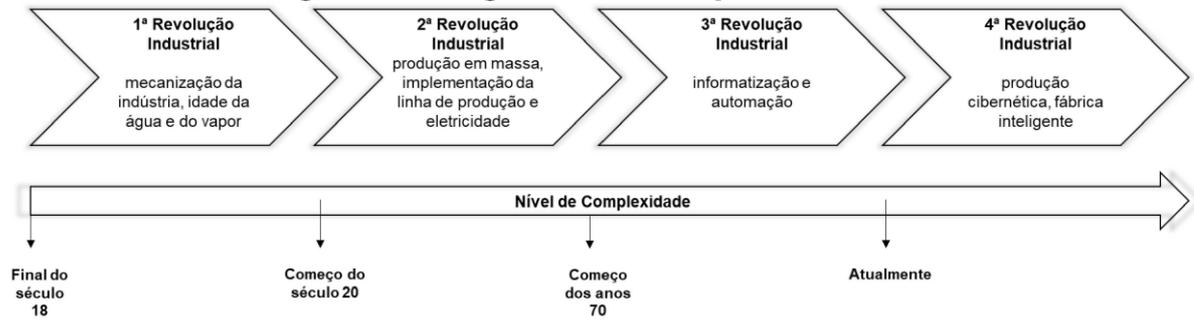
tecnológicos decorrentes do uso da energia elétrica e, no século XX, a terceira revolução industrial foi marcada pela era da digitalização (LASI *et al.*, 2014).

Para entender a nova revolução industrial, o Ministério da Economia (ECONOMIA, 2018) aponta que esta caracteriza a fusão do mundo físico, digital e biológico, a qual ocorre a partir da utilização de diferentes tecnologias (como: impressão 3D (*3D printing*), manufatura aditiva - AM (*additive manufacturing*), inteligência artificial – AI (*artificial intelligence*), internet das coisas - *IoT (internet of things)*, biologia sintética, e sistemas ciber físicos (*cyber-physical systems – CPS*)) aos processos produtivos no centro dessa revolução. A partir desse desenvolvimento, percebeu-se a evolução das fábricas clássicas para as inteligentes.

Nesse sentido, a base da quarta revolução industrial está associada à primeira transformação digital-eletrônica que fortaleceu os sistemas baseados em tecnologia da informação e da informática (*information computer technology – TIC*) no ambiente de fabricação por meio da fabricação integrada por computador (*computer integrated manufacturing – CIM*) e da robótica aprimorada. Essa transformação impulsionou o que está emergindo hoje como a quarta revolução industrial, provocada pela era dos sistemas avançados de manufatura (ESMAEILIAN; BEHDAD; WANG, 2016).

Atualmente, as organizações multinacionais e os países desenvolvidos estão buscando novos recursos de larga escala e métodos de fabricação tecnológicos, conhecidos como *Advanced Manufacturing Systems*. Na Alemanha, isso está delineado nas estratégias da I4.0 (MAKHADO; SUKDEO, 2018). O termo Indústria 4.0, ou quarta revolução industrial, surgiu e disseminou-se a partir de um projeto estratégico do governo alemão, que foi apresentado pela primeira vez no ano de 2011, tornando-se o sinônimo para combinação de altas tecnologias na indústria (LASI *et al.*, 2014). Na Figura 3, também é possível observar os estágios das revoluções industriais quanto ao nível de complexidade das tecnologias.

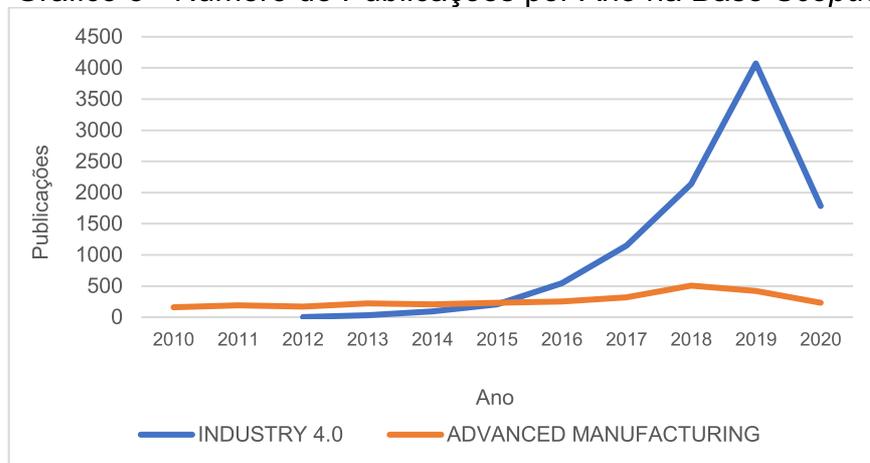
Figura 3 - Estágios das Revoluções Industriais



Fonte: Elaborado pela autora

Desde o ano em que começou a ser explorado na Alemanha, o termo tornou-se referência para a produção científica do assunto e atingiu, até o momento, o maior número de publicações no ano de 2019. Em bases de pesquisa acadêmica como a Scopus, que fornece o número de publicações relacionadas ao termo procurado, anualmente, pode-se observar no Gráfico 3 o comportamento crescente que ocorre nas buscas pelo termo “*industry 4.0*”. Adicionalmente, buscou-se o termo “*advanced manufacturing*” no mesmo período.

Gráfico 3 - Número de Publicações por Ano na Base Scopus

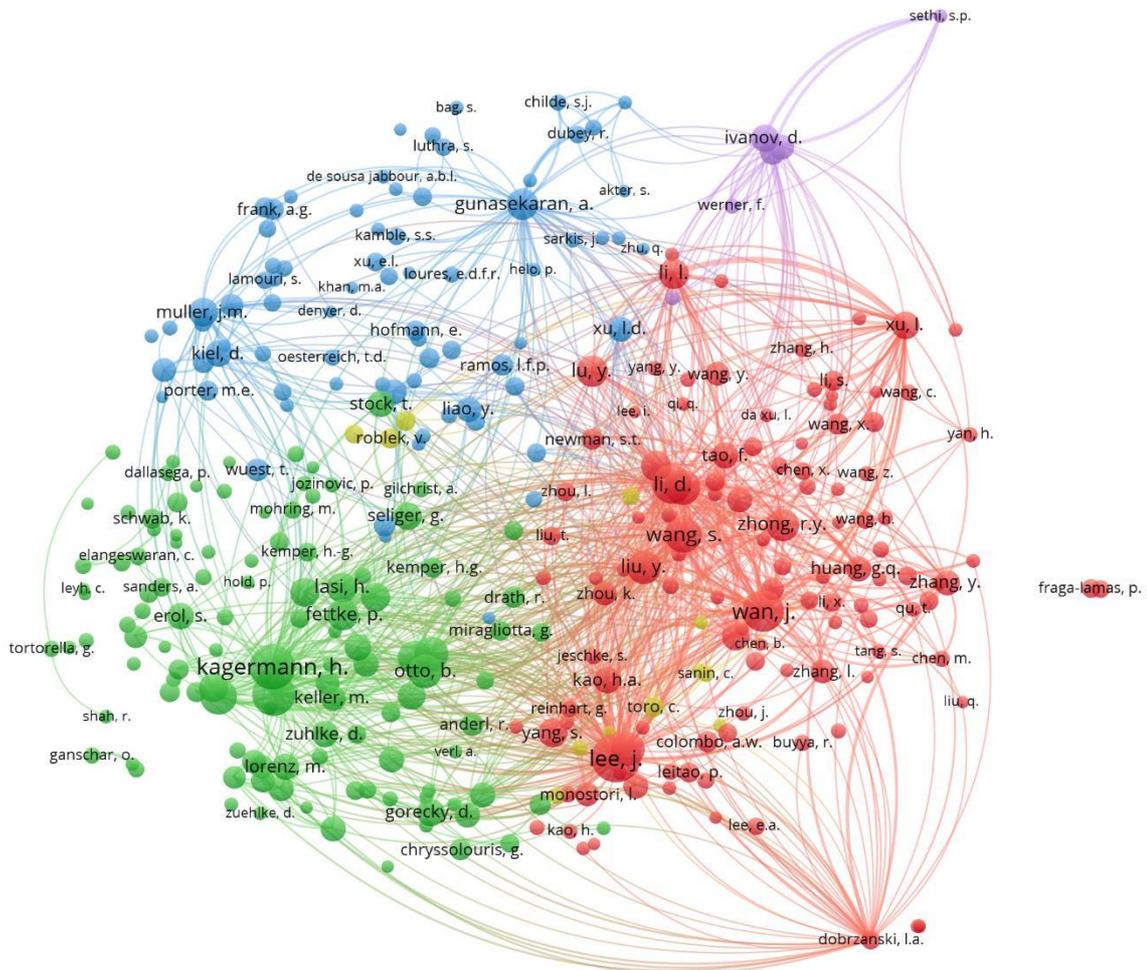


Fonte: Elaborado pela autora

A predominância e o interesse pelo termo *industry 4.0* também são evidenciados pelo site do *Google Trends* apresentado no capítulo introdutório desta pesquisa. Para identificar quem são os principais autores sobre o tema, uma análise bibliométrica de cocitação foi realizada sobre os resultados de busca da base Scopus. Cabe mencionar que a bibliometria é adequada para mapear e analisar o desempenho

acadêmico (COBO *et al.*, 2011). A análise bibliométrica foi realizada com 2.000<sup>1</sup> resultados filtrados por relevância<sup>2</sup> na base Scopus. A palavra-chave utilizada foi “*industry 4.0*” com parâmetros de busca limitados a título, resumo e palavras-chave. Com base nesses parâmetros, foi gerado o mapa exposto na Figura 4.

Figura 4 - Mapa Bibliométrico da Indústria 4.0 por Cocitação



Fonte: Elaborado pela autora

A análise do mapa por cocitações fornece informações pertinentes à pesquisa, respondendo a questões como “*quem seriam os autores mais influentes em uma determinada área de pesquisa*” além de mostrar quais autores são citados juntos. Nesse sentido, pode-se observar que o autor Henning Kagermann se destaca na área destinada a identificar as definições da Indústria 4.0, mostrando tecnologias emergentes, evolução e impactos em diversas frentes, bem como Lasi, Stock e

<sup>1</sup> Os 2.000 resultados utilizados na construção do mapa bibliométrico devem-se ao limite de visualizações do Scopus. Frente a essa limitação, utilizou-se o filtro de relevância para a coleta de dados dos artigos retornados.

<sup>2</sup> A relevância busca pelos artigos que mais se aproximam das palavras-chave pesquisadas.

Selliger que, nesta análise, aparecem como autores notados juntos, pois possuem *links* entre eles. Nota-se também o destaque do autor Jay Lee, tendo em vista que seus estudos estão fortemente relacionados às tecnologias da Indústria 4.0 e os sistemas de fabricação. Lee também se relaciona com Kagermann na análise de citações, além de autores como Wang, Zang e Li.

Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) apresentam a I4.0 como uma abordagem que propõe a produção mais inteligente juntamente a seus procedimentos e processos, sendo elencado pelos autores como um elemento importante ao definir a I4.0, esta que é denominada como a *Smart Factory* – fábrica inteligente. A fábrica inteligente surge para atender as necessidades complexas e aumentar a eficiência da produção, estando menos sujeita a falhas e fornecendo um ambiente onde pessoas, máquinas e recursos se comunicam com desenvoltura (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

De acordo com Anderl (2014), a I4.0 é uma abordagem estratégica para integrar sistemas de controle avançados utilizando a tecnologia de internet, de modo que permita a comunicação entre as pessoas, produtos e sistemas complexos. Desse modo, a estratégia chave para a I4.0 consiste em equipar futuros produtos e sistemas de produção com sistemas baseados em sensores e atores inteligentes para comunicação com a finalidade de contribuir com o controle inteligente da operação (ANDERL, 2014). Brettel *et al.* (2014) corroboram com o Anderl (2014) quando afirmam que essa revolução industrial será desencadeada pela internet que, além de permitir a comunicação entre os seres humanos, permite a troca de informações com máquinas em um *Cyber-Physical Systems* (CPS) em grandes redes.

Wübbeke e Conrad (2015) denominam a I4.0 como o sinônimo para a indústria do futuro, indicada como próximo desenvolvimento da indústria. Para os autores, este avanço será realizado com inteligência e conexão entre as máquinas e trabalhadores. Os autores complementam:

As funções de máquinas vêm se alterando ao longo do tempo, assim como também suas formas de combustível, na Indústria 4.0 trabalham, fazem decisões e otimizam uma larga autonomia em colaboração com os humanos. Processos produtivos se tornaram mais flexíveis, transparentes e eficientes (WÜBBEKE; CONRAD, 2015, p. 03).

O executivo e fundador do *World Economic Forum*, Schwab, apresenta em seus estudos a compreensão da ideia da I4.0, seus impactos nos negócios, no

governo e nas pessoas, assim como as oportunidades e as ameaças dessa nova fase da indústria mundial. Estes impactos terão proporções praticamente imprevisíveis devido à escala e amplitude da atual revolução tecnológica, duas características principais da I4.0 (SCHWAB, 2016). O autor ainda menciona que as mudanças serão profundas e que tomadores de decisão costumam ser levados pelo pensamento tradicional linear (e sem ruptura), ou absorvidos pelas preocupações imediatas e, portanto, não conseguem pensar estrategicamente sobre as forças de ruptura e inovação que moldam o futuro (SCHWAB, 2016).

A I4.0 possui duas características importantes a serem mencionadas, sendo: a integração vertical e a integração horizontal (BRETTEL *et al.*, 2014; WANG *et al.*, 2016). A integração vertical se caracteriza pelo foco na integração de diversos sistemas de tecnologia da informação em diferentes níveis da hierarquia de uma empresa, além de ser dependente da sua arquitetura de distribuição e colaboração. Ao passo que a integração horizontal se centraliza na integração das diferentes etapas de produção ou processos de negócios que promovem atividades de valor agregado (HIDAYATNO; RAHMAN; RAHMADHANI, 2019). Dito de outro modo, a integração vai ocorrer de maneira vertical nos processos organizacionais, e horizontalmente na cadeia de suprimentos, durante o ciclo de vida do produto.

A I4.0 é vista com amplo potencial ao permitir a individualização dos requisitos dos clientes, flexibilidade, otimização da tomada de decisão, maior produtividade e eficiência dos recursos e o potencial de criação de valor. Ressalta-se, também, o projeto de trabalho sensível à demografia, equilíbrio trabalho-vida e competitividade, os quais estão dentre os potenciais dessa transformação causada pela I4.0 (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). Nesse contexto, a I4.0 parte da criação de fábricas, produtos e serviços inteligentes junto a IoT e dos serviços também chamada de *Industrial Internet* (KAGERMANN; LUKAS; WAHLSTER, 2015). Em sua pesquisa sobre a I4.0, Stock e Seliger (2016) apontam a forte influência na indústria da transformação.

A vantagem da I4.0 na cadeia de valor não está imposta apenas à manufatura e à fábrica inteligente. Seu escopo é muito mais amplo ao fornecer novas maneiras para criação de novos negócios. Nesse sentido, a I4.0 tem potencial para viabilizar a solução de desafios relacionados a recursos energéticos, produção urbana e mudanças demográficas (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). Além da fábrica inteligente, serviços e produtos inteligentes são incorporados à tecnologia

emergente da I4.0, de modo que novos modelos de negócio disruptivos surgem em torno dos elementos da I4.0 (STOCK; SELIGER, 2016). Ou seja, a I4.0 oferece uma mudança organizacional de longo alcance, com consequências e oportunidades para estes novos modelos de negócios (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

A I4.0 fornece serviços inteligentes em tempo real para potencializar o uso de infraestruturas e reduzir os recursos (LOM; PRIBYL; SVITEK, 2016). Também não deve ser vista apenas para a indústria ou como um problema final de TI (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). A I4.0 fornece outras soluções, as quais alcançam mobilidade urbana e educação, quando se considera a AI (BUNDY, 2017). Adicionalmente, Oztemel e Gursev (2018) observaram, a partir da I4.0, o crescimento das cidades inteligentes. Dito de outro modo, essa transformação digital que está naturalmente ligada à manufatura industrial expandiu para o setor de serviços em que o indivíduo desfruta e reconhece a I4.0 no seu cotidiano.

Schwab (2016) evidencia as influências da I4.0 no cotidiano dos indivíduos e apresenta a quarta revolução industrial enfatizando a mudança em todos os setores a partir da abordagem de novos modelos de negócio, reformulação da produção, do consumo e do transporte até a mudança de paradigmas na sociedade, que é testemunha na mudança do modo de trabalho, lazer e comunicação. Frank *et al.* (2019), no mesmo sentido, levantam em seu estudo a abordagem da tecnologia digital voltada para o valor dos serviços ao cliente. No entanto, os autores mencionam a falta de conexão dos conceitos nos estudos voltados ao uso das tecnologias orientadas a serviços e do conceito central da I4.0 que está fortemente enraizado nos processos de manufatura (FRANK *et al.*, 2019).

As TIC são utilizadas, na atualidade, para apoiar em torno de 90% dos processos industriais, porém a tecnologia da informação vem sendo utilizada a séculos (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). Nesse sentido, a próxima seção apresentará o conjunto de tecnologias que permite essa transformação.

### **2.1.1 Principais Tecnologias da I4.0**

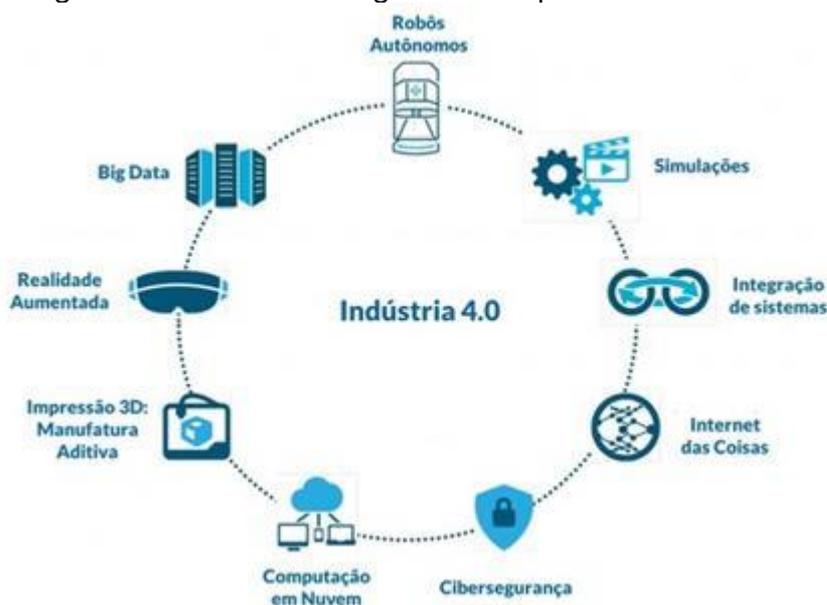
A tecnologia é o principal impulsionador da quarta revolução industrial. A grande quantidade de tecnologias associada a I4.0 é mencionada em diversos estudos em diferentes contextos. Contudo, um dos grandes impactos da Indústria 4.0 é a interconectividade entre as tecnologias (OECD, 2017; USTUNDAG; CEVIKCAN,

2018). Nesse mesmo sentido, o estudo de Klienberger, Borges e Antunes (2019) enfatiza a interconectividade entre as tecnologias quando se fala em I4.0.

No entanto, há estudos que identificaram pilares tecnológicos para a nova revolução. Rübman *et al.* (2015) citam nove pilares de tecnologia avançada que são interligados e impactam o ambiente em que atuam de forma conjunta, sendo fatores chave para a I4.0. Os autores ainda comentam que esses nove pilares são usados atualmente em indústrias de modo separado.

Os nove pilares ou nove tecnologias chaves propostos por Rübman *et al.* (2015) são: robôs autônomos, simulação, integração de sistemas, IoT, ciber segurança, Cloud Computing (CC – computação em nuvem), manufatura aditiva, realidade aumentada e *Big Data* (BD), conforme apresenta-se na Figura 5.

Figura 5 - Nove Tecnologias-chave para Indústria 4.0



Fonte: Adaptado pela autora a partir de Rübman *et al.* (2015, p. 3)

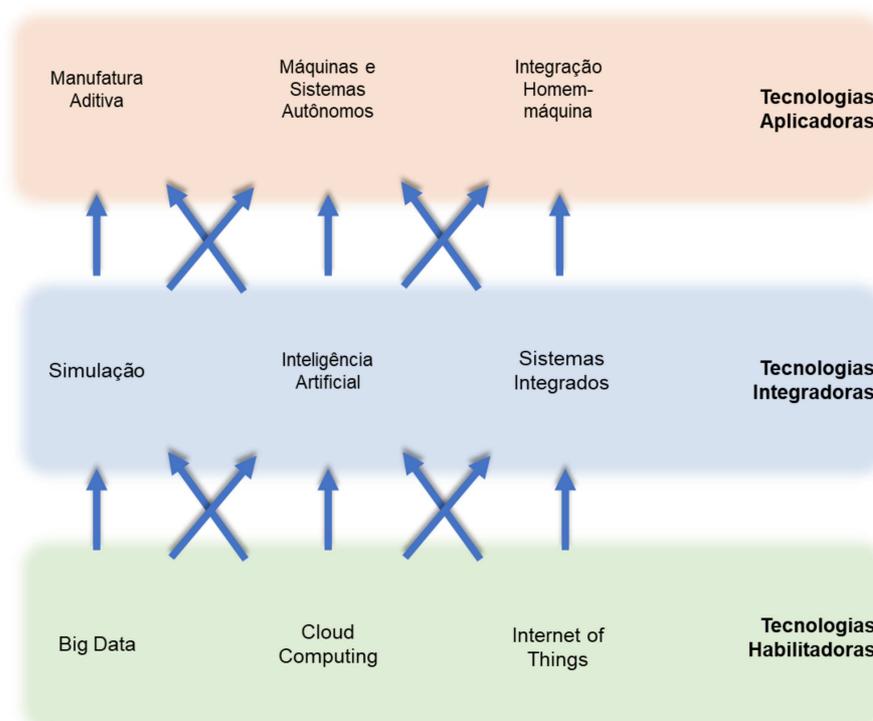
De acordo com Rübmann *et al.* (2015), com a interconectividade das tecnologias apresentadas na Figura 5, os processos tecnológicos são aprimorados e se unem como um fluxo de produção totalmente integrado, automatizado e otimizado. Desse modo, ocorre um aumento de eficiência e mudanças nas relações tradicionais de produção entre fornecedores, produtos e clientes, bem como entre humanos e máquinas.

A partir da conexão entre as tecnologias, Schwab (2016) indica que, através do progresso de cada uma delas, todas acabam se beneficiando umas das outras por

estarem profundamente interrelacionadas. Bibby e Dehe (2018) corroboram com Schwab (2016) ao evidenciar que estes componentes tecnológicos, vinculados de modo coerente, operacionalizam a I4.0.

A publicação da OECD (2017) também apresenta tecnologias-chave para a transformação digital na I4.0. Além disso, o estudo destaca a forma com que tais tecnologias se relacionam e convergem para fornecer essa transformação digital. Na Figura 6, pode-se observar a relação das principais tecnologias que estão viabilizando a transformação digital da produção industrial, segundo a OECD.

Figura 6 - Convergência de Tecnologias-chave da I4.0



Fonte: Adaptado de pela autora a partir de OECD (2017, p. 78)

Conforme é possível observar na Figura 6 as tecnologias da base permitem o emprego das tecnologias do topo. Essas tecnologias são: BD, IoT e CC, e podem ser vistas como tecnologias habilitadoras, pois habilitam as tecnologias do topo quando são integradas com tecnologias como AI, simulação e sistemas integrados. Sendo assim, essa integração permitirá o desdobramento de tecnologias aplicadoras como a manufatura aditiva, máquinas e sistemas autônomos e integração homem-máquina (OECD, 2017).

No que tange às tecnologias classificadas como habilitadoras, encontram-se as aplicações digitais, o BD, IoT e CC. O *Big Data* é o termo que compreende blocos de dados não estruturados que necessitam de análises em tempo real (CHEN; MAO; LIU,

2014). Dito de outro modo, trata-se de uma grande quantidade de dados comparados com conjuntos de dados tradicionais. No entanto, para a presente tese, o conceito de *Big Data* a ser utilizado é o que abrange a técnica de processamento de grande quantidade de dados, desde a busca, captura, visualização, transferência, armazenamento, curadoria, análise e privacidade (XU; DUAN, 2019).

Além disso, o BD está baseado em atributos de dados, tais como: volume de dados, velocidade de aquisição, variedade no formato dos dados, veracidade representando incerteza dos dados e valor em que está representada capacidade de extrair dados úteis (BAJIC *et al.*, 2019). Sendo assim, considera-se que *Big Data* e *Big Data Analytics* são termos para a mesma tecnologia, nesta pesquisa.

As tecnologias integradoras são aquelas que, quando permitidas pelas habilitadoras, propiciarão as tecnologias de aplicação. Assim sendo, as integradoras compreendem a simulação, a AI, *blockchain* e os CPS (OECD, 2017).

O estudo de Rosen *et al.* (2015) exemplifica a aplicação da proposta da OECD (2017). Os autores afirmam que uma consequência da autonomia é o incremento de complexidade ao garantir o comportamento adequado de um sistema durante a produção para atingir determinado objetivo. Desse modo, o autor acrescenta que só é possível este alcance por meio do emprego de modelos de simulação durante todas as fases do ciclo de vida do projeto; sendo possível, assim, a obtenção de diagnósticos e operações otimizadas (ROSEN *et al.*, 2015).

O desdobramento das tecnologias de aplicação como: manufatura aditiva, máquinas e sistemas autônomos, integração homem-máquinas, dar-se-ão por meio de tecnologias integradoras (OECD, 2017). De acordo com Klingenberg, Borges e Antunes (2019), as tecnologias de aplicação de dados são predominantemente novas, como por exemplo: manufatura inteligente, veículos autônomos e *wearables* (tecnologias vestíveis), sendo estes sistemas compostos por múltiplas técnicas e que ainda estão em desenvolvimento.

No que tange às tecnologias relacionadas a I4.0, Klingenberg, Borges e Antunes (2019) classificaram diversas tecnologias quanto às funções que desempenham em relação aos dados. A classificação dos autores está dividida em quatro grupos, apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Tecnologias em Função do Desempenho em Relação aos Dados

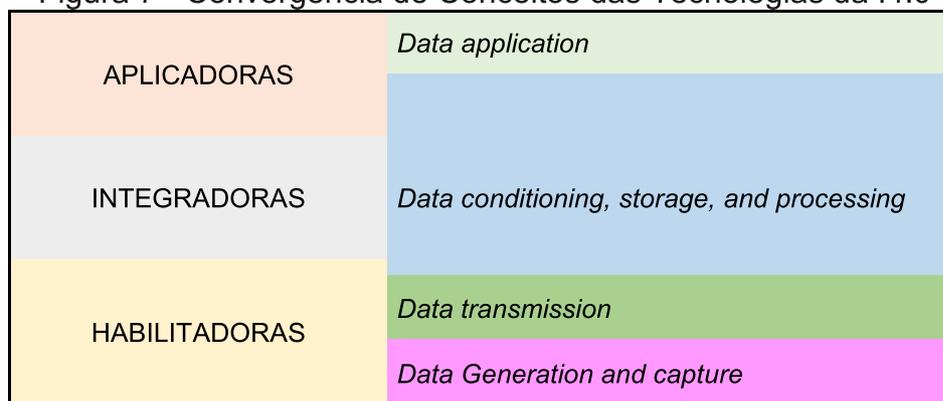
Geração e Captura de Dados	Engloba as tecnologias que geram e coletam dados sobre produtos, componentes, máquinas, processos e pessoas.
Transmissão de Dados	É composta pelas tecnologias relacionadas ao transporte de dados desde seus pontos de origem até os locais onde serão armazenados ou utilizados.
Condicionamento, Armazenamento e Processamento de Dados	É constituído por tecnologias relacionadas à guarda, manutenção, disponibilidade e transformação de dados, gerando conhecimento.
Aplicação de Dados	É composta pelas tecnologias que representam a aplicação de dados, alterando assim as atividades da cadeia de valor.

Fonte: Adaptado pela autora a partir de Klingenberg, Borges e Antunes (2019)

Ao observar a classificação proposta por Klingenberg, Borges e Antunes (2019), percebe-se a convergência com a proposta da OECD (2017). O conceito da classificação, conforme Klingenberg, Borges e Antunes (2019), para as tecnologias de geração e captura de dados e o de transmissão de dados, configura com as mesmas características do conceito da OECD (2017) para as tecnologias habilitadoras. Para OECD (2017), as tecnologias habilitadoras compreendem um grande grupo de tecnologias que habilitam a transformação dos sistemas globais de produção.

As tecnologias de condicionamento, armazenamento e processamento de dados convergem com o conceito e classificação da OECD (2017) para as tecnologias integradoras. E, frente a estas tecnologias, estão as tecnologias de aplicação de dados, as quais são chamadas pela OECD (2017) de tecnologias aplicadoras. A Figura 7 apresenta como a convergência de conceitos dos autores está no mesmo sentido.

Figura 7 - Convergência de Conceitos das Tecnologias da I4.0



Fonte: Adaptado pela autora a partir de OECD (2017) e Klingenberg, Borges e Antunes (2019)

Klingenberg, Borges e Antunes (2019) trazem, por sua vez, a proposta de um agrupamento por criação de valor e habilitação de valor, ou seja, propõem que tecnologias que geram, capturam, transmitem, condicionam, armazenam e processam dados, são tecnologias habilitadoras de valor, enquanto as tecnologias que aplicam dados são tecnologias aplicadoras de valor.

Desse modo, percebe-se a profundidade e abrangência na discussão do termo I4.0, pois, além de um conceito, apresenta princípios e características que levam a sua definição. Klingenberg, Borges e Antunes (2019) expõem em seu estudo que foram levantadas na literatura as tecnologias mais frequentes, e, das 111 tecnologias identificadas no corpus, apenas cinco aparecem com mais frequência, como: CPS, IoT, BD, *Big Data Analytics* e CC.

A seguir, será realizado um maior detalhamento dessas tecnologias.

#### 2.1.1.1 Tecnologias Habilitadoras

Nas tecnologias habilitadoras, encontram-se as principais aplicações digitais, tais como BD, IoT e CC. A IoT e o BD trazem a possibilidade de acesso, coleta de dados ilimitados por meio de sensores conectados à internet, além do monitoramento da internet e das mídias sociais. À vista disso, torna-se possível aperfeiçoar a previsão de demandas, estimar a renda rural (com base na atividade de celulares) e até prever e antecipar distúrbios civis (UNCTAD, 2018).

A IoT permite a comunicação e a interação entre dispositivos, máquinas e seres humanos. Vale destacar que ela proporciona coleta, processamento, análise e compartilhamento do conhecimento sobre os materiais, máquinas e processos envolvidos em um sistema produtivo (BAYRAM; ÍNCE, 2018). Nesse mesmo sentido, a UNCTAD (2018) menciona que a IoT possibilita o monitoramento e o gerenciamento de objetos e máquinas conectadas, enquanto sensores podem monitorar o mundo natural, pessoas e animais.

Um dos principais elementos da IoT é a identificação por rádio frequência (RFID) (WANT, 2006). A tecnologia de RFID é composta por uma etiqueta de RFID e um leitor de RFID, que realiza a leitura das informações por meio de comunicação sem fio e de redes de sensores sem fio (*Wireless Sensor Networks* - WSNs) (XU; HE; LI, 2014). Vale mencionar, ainda, que, devido as suas características de

rastreabilidade e vantagens de identificação, o RFID é vastamente utilizado na indústria para coleta e identificação de objetos (LIU; ZHONG, 2017).

No entanto, coletar os dados por meio da IoT não é o suficiente para a tomada de decisões, sendo necessária uma plataforma analítica para identificar os padrões ocultos, prever tendências futuras, vendas, analisar fluxos de dados em tempo real, a fim de obter percepções de negócios e otimizar as decisões de gerenciamento (LI; LI, 2017).

O autor Ray (2016), em sua pesquisa, propõe que a arquitetura de uma rede IoT seja dividida em cinco camadas: i) hardware / equipamentos robóticos que contemplam tecnologias físicas, como robôs, sensores, dispositivos e veículos que enviam as informações para a camada de rede; ii) rede, como *Wi-Fi*, *Bluetooth*, rede de área global de banda larga; iii) internet, que desempenha o importante papel de fornecer toda a comunicação; iv) infraestrutura, a camada que fornece uma estrutura que inclui as abordagens da nuvem robótica baseada em IoT, BD, *middleware* (software) e processos de negócios; e v) aplicativo, que fornece interação com usuário.

O termo BD está conectado a uma grande quantidade de dados e é possível exemplificar seu emprego em empresas como o Google que processa dados de centenas de *Petabyte* (PB) e o *Facebook* que gera dados de log de mais de 10 PB por mês (CHEN; MAO; LIU, 2014).

A complexidade da automação na indústria está crescendo gradualmente e os dados gerados nos processos necessitam ser alterados para BD. Robôs, CPS, sensores, atuadores, interruptores, computadores industriais, dispositivos, controladores lógicos programáveis (PLCs) e redes de comunicação experimental alimentam o BD na I4.0 (KHAN *et al.*, 2017).

De acordo com Chen, Mao e Liu (2014), a computação em nuvem está diretamente relacionada ao BD. A computação em nuvem representa uma tecnologia que oferece o armazenamento, processamento e análise do BD gerado via IoT (VERMA; SHARMA, 2019). Com vantagens de flexibilidade, armazenamento, compartilhamento e fácil acessibilidade, a CC exerce sua função no processo de análise de dados quando relacionada com o BD, pois oferece a infraestrutura de computação (BAJIC *et al.*, 2019). Em outros termos, a computação em nuvem transforma a arquitetura de TI enquanto o BD influencia a tomada de decisões nos negócios. No entanto, eles estão interrelacionados, pois o BD depende da

computação em nuvem como infraestrutura fundamental para seu bom funcionamento (CHEN; MAO; LIU, 2014).

A seu tempo, a I4.0 é desafiada pelas questões tradicionais de cibersegurança, juntamente com seus próprios problemas exclusivos de segurança e privacidade de dados. Nesse ínterim, vale advertir que, se esses problemas não forem enfrentados de forma adequada, o verdadeiro potencial da I4.0 pode não ser alcançado (THAMES; SCHAEFER, 2017).

Complementarmente, cabe mencionar que as “coisas” estão conectadas por meio da internet ou entre si para criar um parque industrial totalmente interconectado a um ambiente de rede em toda a cadeia de abastecimento, no ambiente da I4.0. Devido a essa grande quantidade de “coisas” interconectadas na I4.0, faz-se necessária uma rede segura e confiável de comunicação para quaisquer decisões e ações que sejam tomadas com base em informações devidamente autorizadas (MEHNEN *et al.*, 2017).

Nesse sentido, a segurança ajuda a melhorar a confiança, colaboração, competitividade industrial individual, vantagem e, até mesmo, para manter a segurança nacional e individual. A I4.0 exige a manutenção de acesso restrito a dados confidenciais, bem como a serviços digitais e processo físicos que estão sendo vinculados a sistemas ciberfísicos complexos que podem controlar fábricas inteiras em nível físico e em decisão (MEHNEN *et al.*, 2017). Na próxima seção, são apresentadas as tecnologias de classe integradoras.

#### 2.1.1.2 Tecnologias Integradoras

As tecnologias integradoras, por sua vez, são aquelas que, quando permitidas pelas habilitadoras, propiciam as tecnologias de aplicação, as quais compreendem: a simulação, a AI, *blockchain* e os CPS.

Para a operação eficiente da I4.0 e da fábrica digital, são necessárias ferramentas e habilidades bem gerenciadas. Nesse sentido, uma das competências aplicadas para o sucesso dessa operação é a simulação por computador de vários processos que ocorrem dentro das empresas (SUJOVA; CIERNA; BAMBURA, 2019).

A simulação é um método em que são utilizados modelos de um sistema real ou idealizado para compreender ou prever o comportamento de um sistema. A evolução da simulação movimenta-se para a otimização da integração de modelos de

simulação em ferramentas de suporte a decisões, com vistas à utilização de modo recorrente (RODIČ, 2017).

Conforme apontado por Rosen *et al.* (2015), a simulação é utilizada para decisões de projeto, testes e validações de sistemas completos. No entanto, existe uma tendência de que a simulação avance para as próximas fases do ciclo de vida de um projeto, como apoio para a operação e funcionalidade do produto ou sistema por meio de simulação orientada (RODIČ, 2017; ROSEN *et al.*, 2015). Sendo assim, o *digital twin* é a próxima tendência na tecnologia de modelagem, simulação e otimização (ROSEN *et al.*, 2015). O *digital twin* é a simulação em que é representada a produção real, utilizando os dados de entrada, execução e saída do sistema real, monitorados continuamente.

Grandes quantidades de informações são recebidas de novos sensores que emergem da tecnologia da I4.0. Para a análise e filtragem dessas informações, a teoria de base da inteligência artificial ajuda na interpretação e norteia os sistemas para a ação mais recomendada. Nesse sentido, segundo Dopico *et al.* (2016), a tecnologia da inteligência artificial se adequa plenamente às provocações que surgem na quarta revolução industrial.

De acordo com Ruhela e Riaz (2019), a inteligência artificial é a simulação da inteligência humana. Adicionalmente, é preciso explicar que a AI pode ser classificada pelo tipo de abordagem: simbólica e sub-simbólica, tendo como exemplos redes neurais, conjuntos nebulosos e algoritmos evolutivos. Tais abordagens vêm evoluindo desde a década de 1960, porém todos esses anos foram marcados por altos e baixos (YAO *et al.*, 2017). A AI se estabeleceu definitivamente por volta de 2010 frente a tecnologias como BD, abordagens e algoritmos de aprendizado de máquina e os computadores que suportam a computação de BD (BUNDY, 2017).

Conforme a Bundy (2017), não existe uma única definição para AI. Na literatura, as seguintes taxonomias são encontradas: sistemas que imitam o cérebro humano (por exemplo, redes neurais); sistemas que agem como humanos (por exemplo, utilizando o teste de *Turing* por meio do processamento de linguagem natural; representação do conhecimento, raciocínio automatizado e aprendizado); sistemas racionais (por exemplo, solucionadores lógicos, inferência e otimização); e sistemas que agem racionalmente (por exemplo, agentes de software inteligentes e robôs incorporados que alcançam objetivos por meio de percepção, planejamento, raciocínio, aprendizado, comunicação, tomada de decisão e ação).

Lee *et al.* (2018) contribuem indicando que existem elementos essenciais para a AI, sendo estes considerados “elementos-chave”, os quais incluem a tecnologia *Analytics*, tecnologia de *big data*, tecnologia em nuvem ou *cyber*, *know-how* de domínio e evidência. O *Analytics* é o núcleo da AI, que atinge o objetivo quando relacionado com outros elementos. As tecnologias de BD e nuvem são elementos essenciais, que suportam a informação (dados) e a plataforma para AI industrial (LEE *et al.*, 2018).

Para Jiang (2018), o sistema CPS é o conceito fundamental da I4.0 para o emprego de fábricas inteligentes. Trata-se, pois, de uma importante ferramenta de apoio no planejamento estratégico ao longo do ciclo de vida de projetos e processos (COGLIATI *et al.*, 2018). Corroborando com essa informação, Xu e Duan (2019) citam que o CPS tem grandes aplicações na I4.0 e, dessa forma, é considerado um importante componente no setor, porém, é aplicado em outras áreas como a militar, de transporte e a área médica.

Segundo Lee, Bagheri e Kao (2015), CPS é constituído por três componentes funcionais principais: a conectividade avançada, que garante a aquisição de dados e fluxo de informações, em tempo real; e o gerenciamento inteligente dos dados e a análise e capacidade computacional. Logo, a integração do CPS com mecanismos inteligentes emerge da necessidade de redução no tempo da tomada de decisões e da velocidade de transmissão de dados, além da evolução crescente da autonomia (COGLIATI *et al.*, 2018). Assim sendo, o CPS permite que se realize tratamento de instalações físicas via controles computadorizados utilizando a tecnologia dos sensores, processadores e atuadores incorporados (XU; DUAN, 2019).

Lee *et al.* (2015) propõem uma diretriz baseada em cinco níveis de aplicação para a implementação de um CPS, a saber: i) aquisição de dados precisos e confiáveis de máquinas e seus componentes; ii) conversão de dados em informações; iii) cyber (rede de informações), informações obtidas de toda a rede de máquinas; iv) apresentação do conhecimento a partir da implementação da CPS, apoiando usuários especializados a tomar decisões corretas; e v) CPS com máquinas inteligentes se autoconfigurando e auto adaptando a partir de informações do processo.

A I4.0 aborda a convergência do máximo de dados possíveis de diferentes elos da CS como um dos seus principais fundamentos. Nesse sentido, o *blockchain* se destaca como uma das tecnologias mais promissoras para aplicação em ambientes industriais (FERNANDEZ-CARAMES; FRAGA-LAMAS, 2019). O *blockchain* é

descrito por Schwab (2016) como um “livro-razão” onde estão informações aprovadas e registradas de modo colaborativo por uma rede de computadores. Nesse mesmo sentido, pode-se observar a premissa de troca dessa tecnologia, situação em que cada elo tem acesso e recurso para verificação do banco de dados (ABOELMAGED, 2012).

Segundo Aboelmaged (2012), o termo *blockchain* está fundamentado na cadeia virtual de blocos de dados que a tecnologia concebe, sendo uma tecnologia que permite a rastreabilidade e o armazenamento de transações realizadas por inúmeras quantidades de dispositivos (FERNANDEZ-CARAMES; FRAGA-LAMAS, 2019). Dentre as vantagens do *blockchain*, destacam-se a colaboração entre as entidades e o alcance de acordos e registros sem a necessidade de autoridade regulamentadora (ABOELMAGED, 2012; SCHWAB, 2016).

No entanto, existem critérios para o sucesso de uma *blockchain*, como o consenso entre as entidades participantes e os links que são criados de um bloco para o outro. Esses critérios dificultam possíveis alterações depois que informações estão inseridas (SCHWAB, 2016; UNCTAD, 2018).

Os óculos inteligentes são formas mais comuns de realidade aumentada e que envolvem algum tipo de vidro, exibição visual para um usuário no processo de aumento de produtividade e desempenho. Os óculos inteligentes no depósito são considerados uma forma de cadeia de suprimentos de realidade aumentada (MERLINO; SPROGE, 2017). A realidade aumentada substitui a cópia em papel, por exemplo, usando portadores digitais como óculos, situação em que uma imagem adicional à realidade virtual é imposta à imagem real dentro de um campo de visão que permite que um funcionário localize produtos destinados a carregar, encontre maneiras de carregar o produto no palete ou verifique se o produto é frágil e perigoso (SZOZDA, 2017). O uso de óculos libera as mãos do funcionário do armazém, tornando seu trabalho mais eficaz no resultado. Além disso, a câmera instalada nos óculos é capaz de escanear o código do produto, assim como os níveis de estoque em tempo real, localização e estágio de fluxo (SZOZDA, 2017).

As principais vantagens da utilização da tecnologia de realidade aumentada, para Szozda (2017), incluem economia de tempo, redução nos erros e diminuição de horas em processamento.

Na seção seguinte, serão apresentadas as tecnologias aplicadoras.

### 2.1.1.3 Tecnologias Aplicadoras

Dentro da categoria das tecnologias de aplicação ou físicas estão a manufatura aditiva, ou impressão 3D, os robôs autônomos e colaborativos e os veículos autônomos (OECD, 2017; SCHWAB, 2016). As tecnologias de manufatura aditiva compõem-se a partir de três etapas: i) o arquivo padrão que contém o modelo sólido em 3D computadorizado; ii) o envio deste arquivo para o equipamento onde ocorrerá a transformação; iii) a transformação da matéria prima em produto, construída camada por camada no equipamento (HUANG *et al.*, 2012). Conforme Veit (2018), apenas as tecnologias de impressão 3D se classificam desse modo.

Sendo assim, a impressão 3D é um modo de fabricação aditivo, em que os produtos são construídos (impressos) camada por camada, uma de cada vez (BERMAN, 2012; RAYNA; STRIUKOVA, 2016). A máquina 3D coloca uma camada fina da resina líquida e utiliza um sistema ultravioleta para endurecer cada camada no especificado padrão de seção transversal. Nesse processo, pode-se utilizar cera, metais e a cerâmica (HUANG *et al.*, 2012). Após a impressão, é realizado um banho químico para retirar o excesso de resina (BERMAN, 2012).

A tecnologia oferece um amplo conjunto de possíveis utilizações, sendo aplicada principalmente nas indústrias automotivas, aeroespaciais e médicas (SCHWAB, 2016). Cabe mencionar que, apesar de a manufatura aditiva estar no range de novas tecnologias que emergem para I4.0, ela não é uma tecnologia nova, visto que foi apresentada há mais de vinte anos. A evolução está representada na mudança dos materiais e aplicações (VEIT, 2018).

Da mesma forma, a robótica avançada é categorizada como uma tecnologia de categoria física. A mão de obra humana vem sendo substituída por robôs, com o objetivo de alcançar uma produção mais precisa e ágil. Os robôs industriais são máquinas com inteligência e recursos automatizados e incorporados que estão sendo utilizados para melhorar o processo de fabricação (BAYRAM; İNCE, 2018).

A I4.0 baseia-se em estratégias e tecnologias inteligentes, a fim de incorporar a ciência de dados à indústria, com o objetivo de gerar fábricas inteligentes para melhoria na produção (BAYRAM; İNCE, 2018). Nesse sentido, os robôs industriais na revolução da Indústria 4.0 são projetados de maneira mais eficiente, situação em que ocorre a interação com os seres humanos e com outros robôs por meio de redes, permitindo que sejam autoconscientes e adaptáveis a novos produtos e processos de

fabricação (LEE; BAGHERI; KAO, 2015). Os robôs estão se tornando cada vez mais adaptáveis e flexíveis devido à alta tecnologia. Esses avanços capacitam os robôs a compreenderem e responderem a situações do ambiente em que está inserido. Além disso, por meio da tecnologia, os robôs têm acesso a informações remotas da nuvem e, dessa forma, podem se conectar a uma rede com outros robôs (SCHWAB, 2016).

Cabe referir que foram desenvolvidas capacidades inteligentes para robôs avançados com auto adaptação para monitorar os processos e reagir aos distúrbios detectados, auto-organização para maximizar a autonomia e aumentar a capacidade de resposta e flexibilidade (USTUNDAG; CEVIKCAN, 2018). Os robôs avançados e colaborativos têm mais aplicações, uma vez que podem ser reprogramados para outras atividades na manufatura e logística (MERLINO; SPROGE, 2017).

Com o desenvolvimento de tecnologias de sensores e inteligência artificial, a capacidade das máquinas autônomas melhora velozmente (SCHWAB, 2016). Tarefas cotidianas, antes realizadas por operadores de manufatura, agora, são automatizadas (OECD, 2017).

OECD (2017) menciona que, em breve, veículos autônomos poderão substituir os motoristas tradicionais. Nesse aspecto, observa-se as grandes empresas como Google, Mercedes e Nissan que concentraram seus esforços para promover a tecnologia do veículo autônomo (FAWCETT; WALLER, 2014). Veículos autônomos e inteligentes serão capazes de percorrer um trajeto do início ao fim autonomamente, além de, quando necessário, reagirem rapidamente a eventos inesperados que ocorram durante o percurso (STOCK; SELIGER, 2016).

Nesse mesmo sentido, a Amazon busca a entrega de seus produtos via aeronaves não tripuladas, ou seja, utilizando drones (FAWCETT; WALLER, 2014). O drone é um veículo aéreo não tripulado que pode oferecer velocidade, flexibilidade e facilidade no serviço de entrega ao consumidor (HEUTGER; KÜCKELHAUS, 2014).

Frente ao exposto, observa-se que não existe uma definição absoluta da I4.0. E que relação entre as pessoas e os produtos, lugares e serviços se torna possível por meio de diversas plataformas e tecnologias conectadas (SCHWAB, 2016). Para atingir o estado da arte, além das tecnologias, verifica-se a necessidade de uma adaptação bem-sucedida do sistema à I4.0. Nesse sentido, Wang *et al.* (2016) mencionam as características que devem ser levadas em consideração, a saber: i) integração horizontal via cadeias de valor, ii) integração vertical e rede de sistemas de manufatura ou serviço; e iii) engenharia de ponta a ponta na cadeia de valor.

Além disso, Khan *et al.* (2017) apontam seis princípios de *design*, expostos no Quadro 3, como importantes no desenvolvimento conceito da I4.0.

Quadro 3 - Princípios de *Design* da Indústria 4.0

Princípio	Fundamento
Interoperabilidade	Integração dos sistemas clássicos aos modernos, ou seja, a capacidade de comunicação entre CPS, dispositivos de IoT fábricas e humanos via IoT.
Virtualização	Virtualização dos processos físicos.
Descentralização	Capacidade da CPS de tomar decisões independentemente de comandos centrais.
Capacidade em tempo real	Capacidade para detecção e solução rápida de falhas problemas.
Orientação a serviços	Utilização de CPS, fábricas e humanos no contexto de serviços orientados, a fim de facilitar a tomada de decisão de agentes, operadores e clientes.
Modularidade	Facilidade para adição de novas máquinas, módulos e CPS sem alteração de módulos já existentes.

Fonte: Khan *et al.* (2017, p.2)

Sendo assim, a correlação entre os princípios apontados pelo autor permite a transformação digital dentro no conceito da I4.0. A conexão, relação e integração das tecnologias permitem essa transformação.

Desse modo, percebe-se a profundidade e abrangência na discussão do termo da I4.0, que, além de um conceito, apresenta princípios e características que levam a sua definição. Ademais, a amplitude e o impacto da I4.0 trazem mudanças e referem-se a um conceito aplicado à cadeia de valor.

Nesse sentido, cabe evidenciar que as organizações precisam desenvolver recursos e capacidades para gerenciar a cadeia de valor de forma ágil e na devida ordem. Com esses desafios, são necessárias estruturas virtuais e físicas que permitam a estreita cooperação e rápida adaptação ao longo do ciclo de vida, do desenvolvimento de produtos desde a produção, distribuição e disposição final (DAVID; HOLCOMB, 2012).

A próxima seção versa sobre o tema cadeia de valor.

## 2.2 CADEIA DE VALOR

Ao aprofundar os conceitos e proposições que permeiam o contexto da cadeia de valor, deve-se aclarar o conceito de valor. A natureza do valor é debatida e tratada desde a época de Aristóteles. A seu tempo, Aristóteles reconhecia, por um lado, valor como um conjunto de “coisas” e a qualidade associada a elas. Além disso, também estabeleceu dois componentes do valor: o valor de uso e o valor de troca, que foram

trabalhados mais tarde pelos economistas. Por outro, entendia a quantidade de uma substância como um valor mensurável (VARGO; MAGLIO; AKAKA, 2008). Para Bowman e Ambrosini (2000), o valor é de uso subjetivo, visto que se refere ao valor que o consumidor confere ao bem ou serviço em razão da percepção de sua utilidade, enquanto o valor de troca representa o valor que o consumidor paga pelo bem ou serviço.

De acordo Vargo, Maglio e Akaka (2008), o valor em uso foi reconhecido como qualidades associadas às coisas. Por exemplo, um carro tem uma coleção de qualidades como: vermelho, rápido, transporte etc.. E, quanto às qualidades relacionadas ao valor de uso, significam coisas diferentes para pessoas diferentes. O valor em troca é considerado como a quantidade de uma substância que poderia ser o valor mensurável de todas as coisas. Dixon (2008) argumenta o valor de uso na troca econômica e que a base da troca é encontrada nas necessidades dos consumidores.

De modo geral, o valor é determinado pelo beneficiário por meio do uso percebido. Três processos são destacados na dinâmica da cadeia de valor: proposição de valor, criação de valor e captura de valor. A expressão “proposta de valor”, difundida por Wiersema e Treacy (1993), é definida como um comprometimento da organização ao entregar ao cliente uma combinação particular de valores que lhe foi apresentado. Para Osterwalder (2004), uma proposta de valor pode ser utilizada como diferencial para atingir o cliente quando há agregação de valor diante dos outros concorrentes. Ou seja, uma proposta de valor ocorre quando há união de elementos de valor (ANDERSON; NARUS; VAN ROSSUM, 2006).

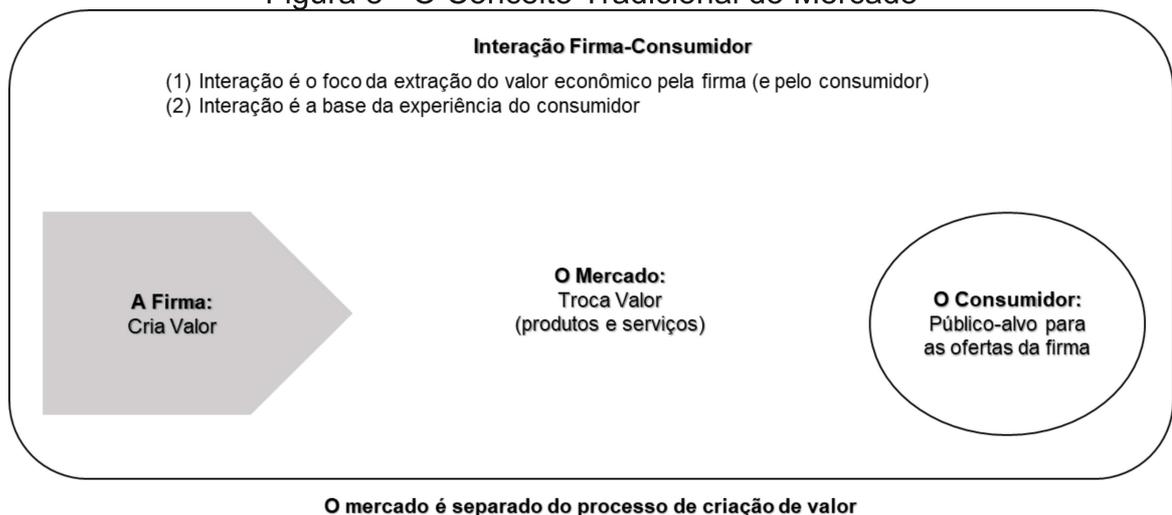
Salienta-se, nesse sentido, que a proposta de valor está diretamente ligada à estratégia do negócio. A proposta de valor impacta as operações, pesquisas de mercado, desenvolvimento de produto, relacionamento com fornecedores, processos de produção, entrega e relacionamento com o cliente, sendo possível depreender que as proposições de valor estão interrelacionadas a qualquer decisão estratégica da empresa (MARTÍNEZ-OLVERA; MORA-VARGAS, 2019).

Para Osterwalder e Pigneur (2011), a proposição de valor deve considerar a clareza e a dinâmica. A clareza é relevante para ser entendida pelo cliente e por todos os participantes do processo de criação de valor. A dinâmica indica a capacidade das empresas em se adaptarem às mudanças de percepção dos clientes geradas por novas tecnologias, fatores socioculturais, legais, demográficos, econômicos, dentre

outros. O objeto do processo de criação de valor consiste em dar forma à proposição, tornando-a uma realidade.

A questão de quem participa da criação de valor é antiga na literatura. Na visão de Prahalad e Ramaswamy (2004), tem-se a empresa como criadora de valor, o consumidor como público alvo e o mercado onde se estabelece a troca de valor entre um e outro, como pode ser observado na Figura 8.

Figura 8 - O Conceito Tradicional do Mercado



Fonte: Prahalad e Ramaswamy (2004, p. 7)

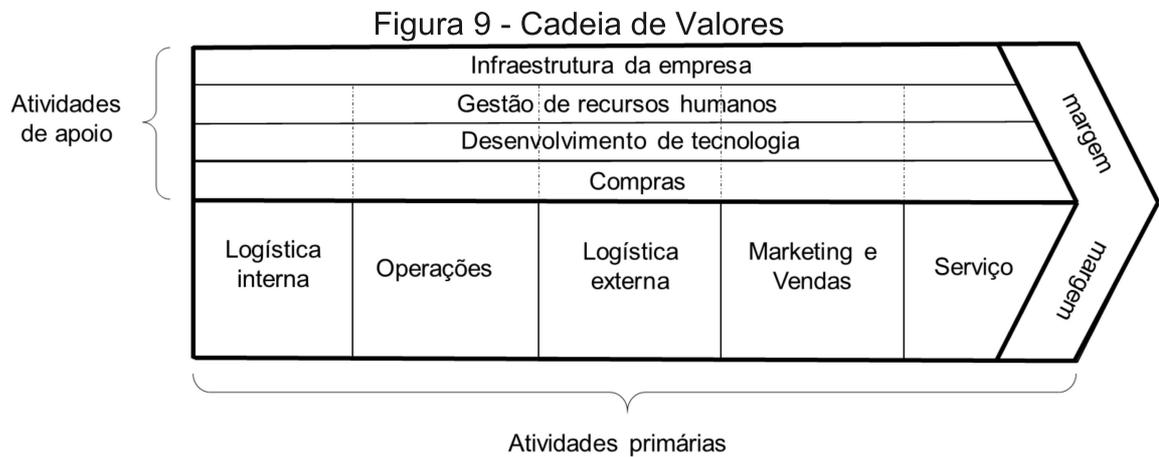
A abordagem proposta por Prahalad e Ramawamy (2004) não inclui o mercado e nem o consumidor no processo de criação. Dessa forma, o valor é criado pela coordenação das atividades dentro da firma (BOWMAN; AMBROSINI, 2000; PORTER; MILLAR, 1985).

Na literatura, confunde-se a questão de “como” o valor é criado e “quem” cria. A cadeia de valor proposta por Porter (1985) esclarece que o valor criado por meio de um conjunto de atividades primárias (logística de entradas, operações, logística de saída, marketing/vendas e serviços), atividades secundárias ou apoio (infraestrutura, gestão de recursos humanos, desenvolvimento de tecnologia e compras). Em conformidade com Porter (1985), a forma de executar as atividades é que determina a vantagem competitiva da empresa.

A partir da literatura apresentada, compreende-se que a proposição de valor é um processo que consiste na definição do produto/serviço a ser oferecido pela firma (que cria valor), considerando a sua utilidade para o público-alvo (o consumidor), e o mercado local em que se estabelece a troca entre ambos.

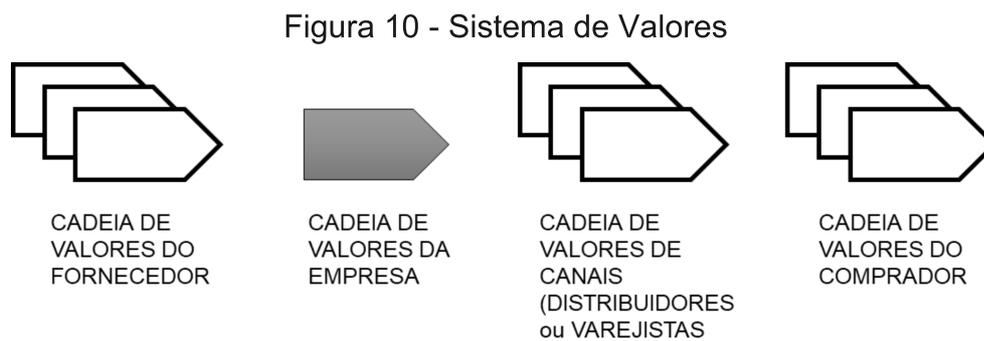
A expressão Cadeia de Valor torna-se reconhecida a partir dos estudos de Porter (1985). O autor apresenta o conceito, no contexto da vantagem competitiva, definindo-o como um mecanismo para compreender o comportamento dos custos e de outras potenciais fontes de diferenciação de uma empresa, a partir da sua desagregação em atividades estrategicamente relevantes. Essas atividades são as geradoras de valor dentro da empresa de modo que o valor será criado a partir de seu desempenho (PORTER, 1993).

Porter (1985) apresenta a cadeia de valor em dois eixos, o de atividades primárias e o de atividades de apoio. A cadeia de valor está representada pelas atividades de valor e margem, consistindo em um valor total. A proposição de Porter (1985) está apresentada na Figura 9.



Fonte: Porter (1985, p. 51)

Todas as atividades contempladas na cadeia de valor criam valor para o cliente, tendo em vista que as atividades primárias estão relacionadas à produção, comercialização, entrega e assistência ao produto. As atividades, por sua vez, que estão relacionadas à obtenção de insumos comprados, tecnologia, recursos humanos e infraestrutura são as atividades de apoio. Frente a isso, propõe-se que, para a obtenção de vantagem competitiva, exista a administração dessas atividades como um sistema. Desse modo, Porter (1985) conceitua o sistema de valores como uma cadeia de valores para atingir a competitividade, a qual está inserida em um contexto mais amplo de atividades, conforme observado na Figura 10.



O Sistema de valores proposto por Porter (1993) consiste em uma cadeia de fornecedores, proporcionando os insumos, maquinaria e serviços, até o comprador final, percorrendo a cadeia de valores da empresa e dos canais de distribuição. Nesse sentido, ressalta-se a importância da interdependência entre os canais que ligam as cadeias, pois a vantagem competitiva advém de coordenações eficientes desses canais. Desde então, a cadeia de valor de Porter é adotada pelos grupos empresariais como um método para entender e compreender a complexidade nos ambientes de negócios podendo estruturá-lo para atingir vantagem competitiva.

O conceito de cadeia de valor de Porter se refere apenas aos processos conduzidos dentro dos limites da firma (KOTHANDARAMAN; WILSON, 2001). No entanto, destacam-se outros autores frente às discussões conceituais acerca da cadeia de valor. O termo cadeia de valor foca no processo de adicionar valor a todas as fases da cadeia. Nesse sentido, ao buscar a adição de valor, é necessário compreender a distribuição da cadeia, bem como o valor existente entre os atores que a compõe para que, dessa forma, as estratégias de atualização sejam promovidas (BANDARIAN, 2008).

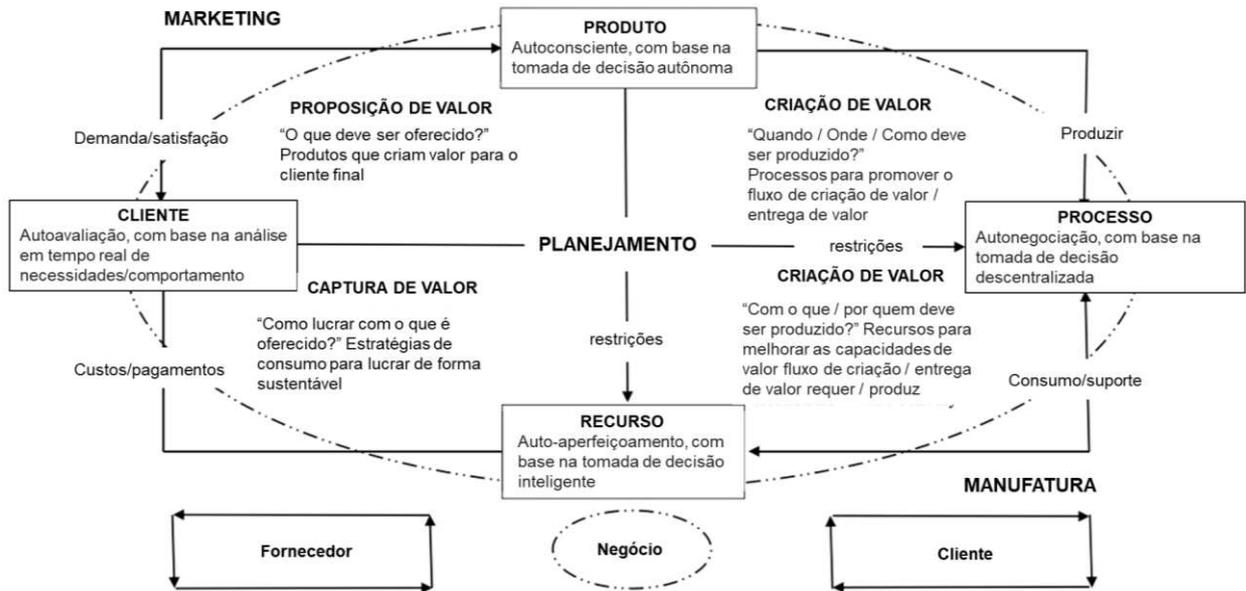
Normann e Ramirez (1993) mostram que a cadeia de valor está baseada no pensamento tradicional de uma economia industrial. A montante (*upstream*) estão os fornecedores entregando as matérias-primas à empresa que irá transformar os insumos em produtos com agregação de valor, para passá-lo ao próximo elo da cadeia (*downstream*). Nessa visão, a estratégia está ligada à posição que a empresa ocupa na cadeia de valor juntamente com sua proposta de negócio, produto, segmento de mercado e atividades de agregação de valor. No entanto, os autores propõem uma transformação no modo de criação de valor, em que o objetivo é gerar mais valor a partir da mobilização dos próprios clientes, tendo em vista que estes criarão seu próprio valor frente às várias ofertas da empresa (NORMANN; RAMIREZ, 1993).

Desde os anos de 1990, a tecnologia proporciona novos métodos de combinação de atividades em produtos e serviços para fornecer novas oportunidades de criação de valor. Cadeias de valor tradicionais se desenvolvem por longos períodos e tendem a ser estáticas (CHEN, 2019). Atualmente, os sistemas baseados em métodos avançados de comunicação e virtualização permitem a integração ao longo de toda a cadeia de valor fornecendo um significativo potencial de otimização a partir da integração horizontal (BRETTEL *et al.*, 2014). Os sistemas interconectados permitem melhorias nos processos de criação de valor ao longo do ciclo de vida do produto (RUDTSCH *et al.*, 2014).

O termo criação de valor da I4.0 foi definido por Martínez-Olvera e Mora-Vargas (2019) no contexto da I4.0, difundindo as implicações que a I4.0 traz para a cadeia de valor. A criação de valor da I4.0 se desenvolve em dois sentidos: i) novos modelos de negócios de criação de valor; e ii) a promoção da oferta de serviços/produtos personalizados em tempo real. Por conseguinte, o usuário final é o criador de valor, sendo necessária a combinação e sincronização do produto-serviço (MARTÍNEZ-OLVERA; MORA-VARGAS, 2019).

Contudo, as implicações da I4.0 estão além da criação de valor, atingindo a entrega de valor, que contempla o produto/serviço oferecido, o meio de distribuição e as relações estabelecidas, bem como a captura de valor que descreve os custos e ganhos da empresa (IBARRA; GANZARAIN; IGARTUA, 2018). A interconexão dos processos destacados na cadeia de suprimentos foi relacionada com a I4.0 pelos autores Martínez-Olvera e Mora-Vargas (2019), que propuseram um *framework* com características direcionadas aos processos de valor da I4.0, o qual pode ser observado nos níveis estratégico e operacional, conforme a Figura 11.

Figura 11 - *Framework* dos Processos de Valor da I4.0



Fonte: Martínez-Olvera e Mora-Vargas (2019, p. 20)

Ao observar o *framework* apresentado na Figura 11, os autores propõem três domínios de valor interconectados de um modelo de negócios: a proposta de valor (razão pela qual os clientes recorrem a uma empresa em vez de outra), criação de valor (recursos, capacidades e processos necessários para entregar a proposta de valor) e captura de valor (estrutura de custos e receitas, que define a rentabilidade e sustentabilidade econômica do empreendimento).

Também expõem que a sobrevivência de uma empresa no longo prazo não apenas requer a criação de valor, mas também a captura/apropriação de valor. Sendo assim, citam quatro fatores que criam valor para um produto, serviço ou combinação de ambos: produto (o que deve ser produzido/ oferecido?), processo (como deve ser produzido?), equipamento (por que meios devem ser produzido?), e pessoas e organização (quando/onde deve ser produzido e quem deve produzir, supervisionar e gerenciar?) (MARTÍNEZ-OLVERA; MORA-VARGAS, 2019).

Para que a I4.0 tenha implicações para a criação de valor industrial central, é necessário desenvolver novos modelos de negócios de criação de valor, e uma cooperação baseada e em plataforma que promove a oferta de serviço/produto personalizado em tempo real. Então precisam ser projetados em torno da lógica de negócios customizada e combinações de produtos-serviço diferenciadas e bem sincronizadas. A capacidade de explorar os dados em qualquer lugar, a qualquer hora, coletando informações durante todo o ciclo de vida do produto, permite criação de valor não só da venda de produtos e serviços, mas também da exploração de dados

que estão disponíveis. Neste contexto, os quatro elementos de criação de valor podem ser caracterizados em termos de clientes, produtos, processos e recursos inteligentes.(MARTÍNEZ-OLVERA; MORA-VARGAS, 2019).

A adequação e reformulação da cadeia de suprimentos com frequência fornece melhoria na posição competitiva para as empresas. Então, cabe administrar a cadeia de valores como um sistema e não como uma coleção de partes pode garantir a obtenção de vantagem competitiva frente a seus concorrentes, mesmo que a vantagem competitiva ainda esteja relacionada à organização e realização de suas atividades em separado (PORTER, 1993).

Abordou-se, ainda, a cadeia de valor com um conjunto de processos e como uma estrutura para a criação de valor. Como os processos, a cadeia de valor representa a sequência de proposição, criação e captura de valor. A proposta de valor envolve, desse modo, as questões “o quê propor?” e “para quem propor?” (OSTERWALDER, 2004). Osterwalder e Pigneur (2011) expõem que a proposta de valor é definida pela firma e concretizada no processo de criação de valor, sendo definido pelos autores que a criação de valor envolve as questões “quem cria valor?” e “como o valor é criado?”. Na visão de Brandenburger e Stuart (1996), o processo de captura de valor é determinado pela criação de valor e envolve as questões “onde na cadeia o valor é capturado?” e “quanto?”. Dessa forma, entende-se que a firma propõe um valor que é realizado na cadeia de valor pelo processo de criação de valor que, por sua vez, determina o processo de captura de valor pela firma.

Conforme o estudo de Porter e Heppelmann (2015), a cadeia de valor passa por um processo de mudança a partir do momento em que as organizações começam a se questionar sobre o que fazem e em que negócio estão inseridas. Dentre as atividades que são modificadas, os autores ressaltam Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), Produção, Logística, Marketing e Vendas e Serviços. Adicionalmente, Porter e Heppelmann (2015) observam que ocorrem mudanças das fronteiras funcionais e na criação de novas tarefas na estrutura organizacional quando se referem às características das atividades desempenhadas pela firma. Porter e Heppelmann (2015), ao se referirem às transformações empresariais ou setoriais, referem-se às expressões *Sistemas de Sistemas* e ao conceito de Sistema de Valor definido por Porter em 1985.

Além disso, a I4.0 difundiu mudanças e criação de valor à cadeia de valor, com o desenvolvimento de capacidades que permitem aprimorar as tecnologias e,

consequentemente, alcançar uma vantagem competitiva de forma que necessitam alinhar-se às estratégias empresarial e de manufatura. Sendo assim, a próxima seção versará sobre estratégia de produção.

### 2.3 ESTRATÉGIA DE PRODUÇÃO

A estratégia empresarial pode ser entendida como um processo de ações agressivas e defensivas, tendo como objetivo alcançar uma posição sustentável no mercado para enfrentar com sucesso as cinco forças competitivas (concorrentes na indústria; entrantes potenciais; substitutos; compradores; e fornecedores) (PORTER, 1979).

Porter (1985) descreveu três estratégias genéricas para competição: estratégia de liderança de custo, estratégia de diferenciação e estratégia de foco. Cabe mencionar que tais conceitos representam diferentes orientações estratégicas que a empresa deve buscar a fim de realizar seus objetivos.

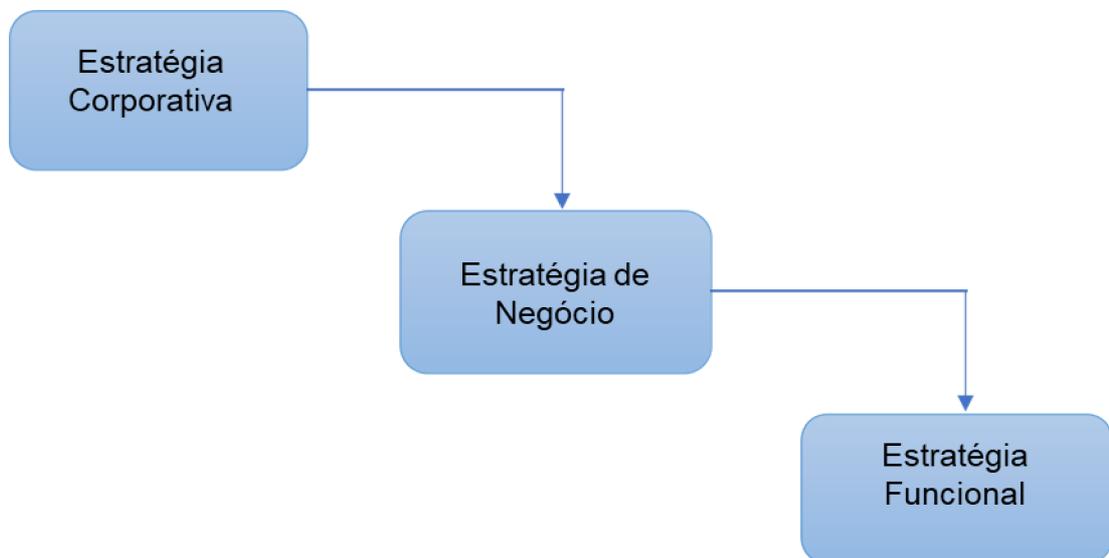
Sumer e Bayraktar (2012) apresentam uma nova estratégia, denominada de híbrida, na qual custos e diferenciação são tratados de forma integrada. Sendo assim, Sumer e Bayraktar (2012) propõem uma nova estrutura para as estratégias genéricas de Porter com o quarto nível estratégico: estratégia de liderança de custo, estratégia de diferenciação, estratégia de foco e estratégia híbrida. No entanto, Sumer e Bayraktar (2012) expõem que uma empresa pode competir por custos em seus produtos e buscar a diferenciação nos seus serviços prestados, ou seja, opta-se pela estratégia (custos), buscando-se por e características de outra (diferenciação) para obter um melhor desempenho.

A estratégia de produção pode ser compreendida como a definição de políticas e planos para a utilização de recursos produtivos de uma empresa visando ao alcance e à sustentação de sua estratégia competitiva (ORTEGA; GARRIDO-VEGA; MACHUCA, 2012). Para Skinner (1974), a função manufatura de uma empresa, em geral, pode ser vista como uma arma competitiva ou como uma área sem grande contribuição para a estratégia da empresa. Vale destacar que, desse modo, a manufatura afeta a estratégia corporativa, e a estratégia corporativa afeta a manufatura.

Hayes *et al.* (2008) e Paiva, Carvalho Jr. e Fensterseifer (2009) abordam um modelo de desdobramento de estratégia em três níveis: a) estratégia corporativa:

sendo que este nível contempla decisões que dizem respeito aos setores e mercados em que uma empresa ou corporação atuará (ou não atuará), e como se estruturará para atuar nesses setores e mercados, e também de que forma obterá recursos para tal; b) estratégia de negócio: este nível está associado a cada Unidade Estratégica de Negócios (UEN) e a como cada UEN se posicionará dentro de determinado setor a fim de obter vantagem competitiva; e c) estratégia funcional: este nível sustenta a vantagem competitiva definida pela estratégia de negócios conforme se apresenta na Figura 12.

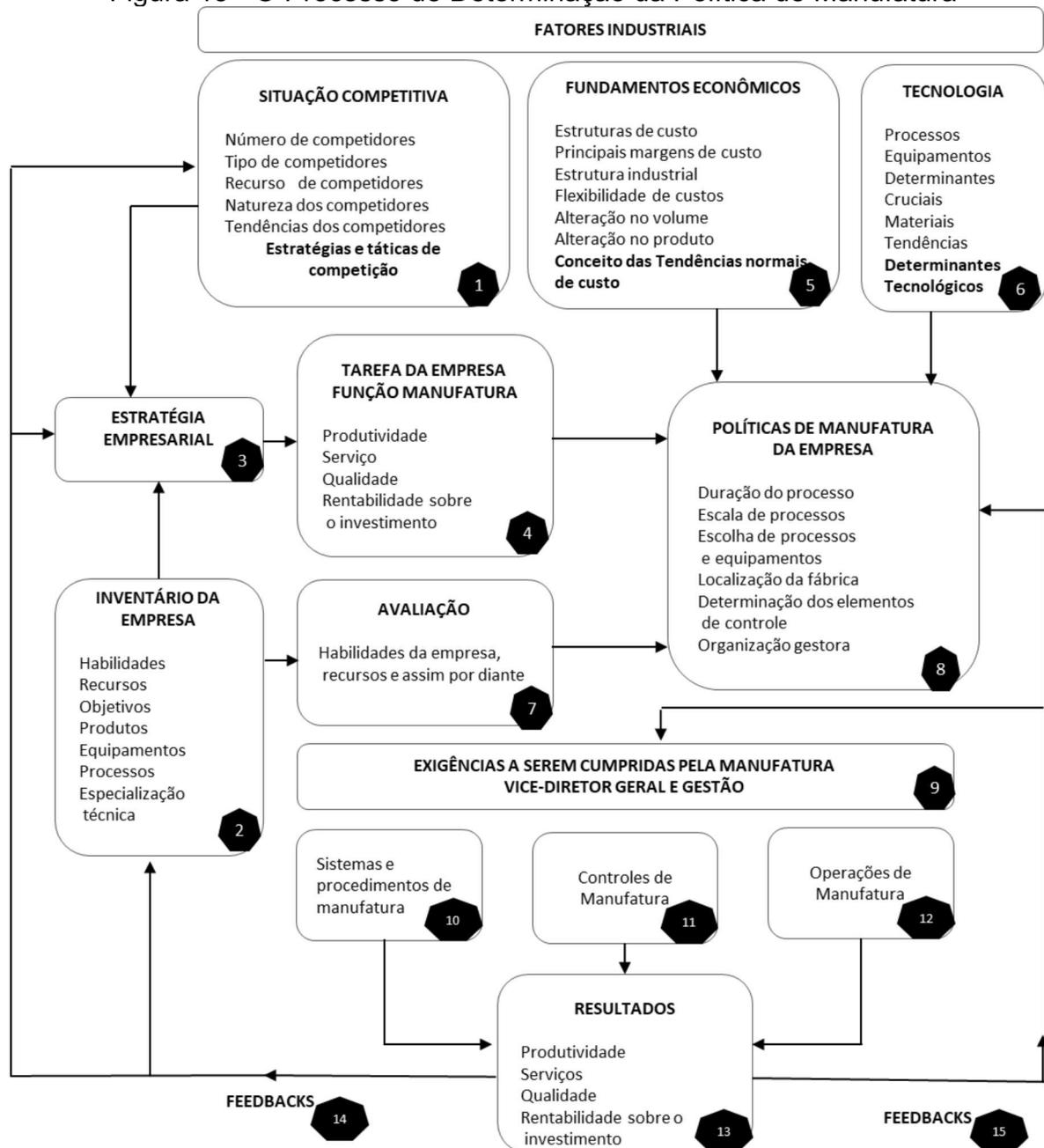
Figura 12 - Níveis Estratégicos da Empresa



Fonte: Paiva, Carvalho Jr. e Fensterseifer (2009, p. 51)

Skinner (1969) apresentou em seu estudo a necessidade de a manufatura apoiar a busca pelos objetivos estratégicos dos negócios, e complementa mencionando que essa definição tem um caráter sistêmico no sentido de apontar para uma abordagem global da estrutura produtiva. O processo de determinação da política de manufatura é apresentado na Figura 13.

Figura 13 - O Processo de Determinação da Política de Manufatura



Fonte: Skinner (1969, p. 143)

Primeiramente, Skinner (1969) inicia pela análise de mercado e da concorrência, os produtos, mercados, as políticas e os canais de distribuição, observando as empresas concorrentes e as oportunidades que surgem para a sua empresa. Em seguida, vem a avaliação de habilidades e recursos da empresa e das atuais instalações. Na terceira etapa, a estratégia empresarial, na qual se consideram o mercado (oportunidades e ameaças) e os recursos (pontos fracos e pontos fortes). Nessa etapa, é preciso definir nichos nos mercados em que se possa obter vantagens. A quarta etapa, por sua vez, define as implicações, os efeitos da estratégia

empresarial em termos de tarefas específicas referentes à manufatura. Dito de outro modo, trata-se do que é preciso alcançar na manufatura a fim de conseguir competir.

A quinta e sexta etapas se destinam a estudar as restrições ou as limitações colocadas pelos fundamentos econômicos e pela tecnologia da indústria. Em geral, esses fatores são comuns a todas as empresas concorrentes. A sétima e a oitava etapas são fundamentais para a integração e a síntese de todas as etapas em um processo de determinação da política de manufatura. Em outras palavras, são considerados os fatos dos fundamentos econômicos e da tecnologia da indústria, e a forma como a empresa se posiciona para cumprir as tarefas específicas referentes à manufatura colocada pela estratégia competitiva. Trata-se da etapa na qual a gestão irá fazer, comprar, definir quanto vai produzir, quais os processos e equipamentos comprar, etc (SKINNER, 1969).

As etapas de nove a quinze são as etapas de elaboração dos programas de implementação das políticas de manufatura; de controles (custo, qualidade, fluxos, estoques, tempo de duração); das medidas de aferição do desempenho; de alterações naquilo que se possui, efeitos sobre a situação competitiva e revisão estratégica; e de análise e revisão das operações e políticas da manufatura. Sendo o *feedback* um processo controlado e reavaliado constantemente, com o objetivo de se fazerem os ajustes e as correções necessárias conforme as mudanças de mercado (SKINNER, 1969).

Skinner (1974) aprofundou, ainda, o processo de planejamento das estratégias de manufatura. Ele propôs, em seu artigo, que a função da manufatura é buscar a melhor forma de auxiliar a empresa a competir no mercado. Nesse contexto, o autor propõe um modelo de produção chamado de a fábrica focada, que abre possibilidade de a empresa organizar a produção em unidades de manufatura, ou mini fábricas de acordo com os produtos fabricados. Sendo assim, a fábrica focada centraliza seu enfoque em uma restrita combinação de produtos, situação em que ela está voltada a um nicho de mercado, superando o desempenho de uma fábrica convencional e se esforça para cumprir a missão mais abrangente.

Outro ponto importante levantado por Skinner (1974) é que a fábrica, trabalhando de forma focada, pode se transformar em uma arma competitiva, sendo que seu enfoque gira em torno da realização de determinada tarefa de manufatura demandada pela estratégia geral da empresa e também pelos objetivos de marketing.

Vale destacar, também, que o ambiente externo, mercadológico, não foi focado pela estratégia de manufatura. Skinner (1969), a seu tempo, desenvolveu as dimensões como suas prioridades, focando somente no ambiente interno da organização. Enquanto isso, Corbett e Wassenhove (1993) contribuem com as dimensões que são medidas no âmbito interno à empresa e que têm sentido voltado às competências da organização – custo, flexibilidade, inovação, tempo e qualidade, haja vista que as dimensões que são medidas no âmbito externo à firma e têm sentido de competitividade (preço, praça e produto).

Fine e Hax (1985) expõem nove categorias de decisões que permitem um maior desdobramento na estratégia de manufatura de uma empresa, que são: tecnologias e processos, instalações, capacidade, integração vertical, escopo da produção e de novos produtos, recursos humanos, infraestrutura, qualidade e relação com os fornecedores e externos.

Sendo assim, as estratégias são distintas na organização. Quando as organizações querem focar as suas competências, então devem ir para o caminho da estratégia de manufatura (CORBETT; WASSENHOVE, 1993; SKINNER, 1974), para as dimensões de competitividade, uma estratégia de negócios (CORBETT; WASSENHOVE, 1993); e, quando o enfoque for centrado na estratégia corporativa e na tarefa de manufatura, as organizações devem introduzir a ideia de “fábricas focalizadas” e estabelecerem primordialmente o conceito de estratégia de produção, no sentido de visualizar a produção como uma arma competitiva (SKINNER, 1969, 1974).

Os autores Corrêa e Corrêa (2017) afirmam que a estratégia de produção preocupa-se menos com os processos individuais e detalhados e mais com o processo global da função produção do negócio como um todo. Complementam, que a principal preocupação é com as interfaces entre as áreas de operações, com outras partes da corporação (outras unidades de negócios, quando é o caso), outras partes da unidade de negócio (marketing, finanças, recursos humanos e outras) e com o ambiente onde se insere o negócio (grupos de pressão ambientais, concorrentes, governo, clientes externos etc.).

Diante de um cenário competitivo no qual as empresas estão inseridas, tanto no âmbito nacional como internacional, é oportuno que a seção seguinte verse sobre critérios competitivos.

## 2.4 CRITÉRIOS COMPETITIVOS

Decorrente das mudanças no mercado e nas cadeias produtivas, cada vez mais é exigido das empresas que busquem produtos inteligentes, conectados e com recursos altamente aprimorados, os quais remetem a uma mudança expressiva nos modelos de negócios das organizações. Segundo Skinner (1974), a estratégia competitiva nas firmas demanda que as funções operacionais estejam alinhadas aos processos produtivos. Dessa forma, Skinner (1974) define a estratégia de operações como uma ferramenta cujo objetivo principal é o aumento da competitividade da organização. Nesse contexto, ainda que a busca por inovação seja cada vez mais iminente, os princípios básicos da vantagem competitiva permanecem presentes.

No que tange aos princípios básicos da vantagem competitiva, Ferdows e De Meyer (1990) demonstram, a partir da teoria do cone de areia, que os princípios das capacidades competitivas nas empresas são construídos em sequência, considerando também que tais melhorias podem ser cumulativas ao longo de seu desenvolvimento. O cone comentado pelos autores inicia pelo foco na qualidade dos produtos, posteriormente na entrega aos clientes, sendo possível desenvolver com o tempo a flexibilidade das empresas em se adequarem às necessidades do mercado e, por fim, no custo de produção.

Em um contexto de busca por vantagem competitiva, a estratégia das firmas passa a ser essencial, sendo ressaltado por Slack e Lewis (2009) que a estratégia consiste em um padrão de decisões que indica o caminho global da empresa. Dessa forma, com a finalidade de atender às novas necessidades do mercado, a decisão de adotar tecnologias avançadas pode ser crítica para o sucesso a longo prazo, sendo que esses investimentos permitem oportunidades estratégicas para as empresas em ambientes dinâmicos, nos quais é necessário atingir altos níveis de desempenho em múltiplas dimensões competitivas (SCANNELL; CALANTONE; MELNYK, 2012).

Neste íterim, Porter e Heppelmann (2014) contribuem para a discussão ao considerar que uma empresa deve ser capaz de se diferenciar frente ao preço, custo e aos concorrentes e, quando possível, simultaneamente. Os autores mencionam que a eficácia operacional estabelece e sustenta a vantagem competitiva, uma vez que a adoção das melhores práticas em toda cadeia de valor, incluindo a inovação tecnológica e os novos padrões de eficácia operacional definidos por eles, são meios de alcançar a vantagem competitiva.

A competitividade se refere à capacidade de uma organização sobreviver em um ambiente competitivo como o mercado, oferecendo produtos ou serviços que sejam atraentes e que possam satisfazer os clientes. Diferentes empresas e setores necessitam de prioridades distintas para uma vantagem competitiva (SCHMENNER; VASTAG, 2006; NARKHEDE, 2017). Para avaliar a competitividade das firmas frente aos seus concorrentes e ao ambiente em que atuam, Skinner (1974) indica que os critérios competitivos<sup>3</sup> são os fatores avaliados pelos clientes quando da decisão de compra. Para Miltenburg (2008), critérios competitivos podem ser definidos como um conjunto consistente de critérios que a empresa tem de valorizar para competir no mercado. É preciso que se compreenda os critérios competitivos mais adequados e que se estruture a função da produção, a fim de dar suporte a esta escolha. Frente ao exposto, pode-se complementar indicando que os critérios competitivos têm como objetivo orientar as estratégias das organizações, quando identificados e, por consequência, incrementar a expectativa dos clientes.

Corbett e Wassenhove (1993) expõem acerca da necessidade de definições sobre as prioridades competitivas de custo, qualidade, confiabilidade, flexibilidade e inovação, que frequentemente são utilizadas como competitividades a serem definidas pelas empresas.

Devido à importância de a empresa conhecer e avaliar os critérios competitivos, compreende-se que estes devem ser analisados de forma clara e concisa, sendo importante que as organizações possam investir nos atributos que são valorizados por seus clientes e quais podem dar suporte aos que são mais relevantes. De forma geral, Teixeira et al. (2014) expõem que os critérios competitivos mais considerados pelas firmas são: custo, qualidade, confiabilidade, flexibilidade e inovação.

Diversos estudos analisam e ressaltam tais critérios, sendo evidenciado no Quadro 4 um levantamento daqueles que são abordados por diversos autores. Os critérios foram retirados da RSL e, durante a leitura dos artigos selecionados, foram encontradas outras referências a partir destes primeiros, o que consiste em um procedimento chamado de bola de neve (LITTEL; CORCORAN; PILLAI, 2008).

---

<sup>3</sup> O conceito de critérios competitivos adotado para esta tese é o de Skinner (1974), pois, segundo ele, os critérios competitivos são os fatores avaliados pelos clientes quando da decisão de compra. Cada um desses fatores influencia para a decisão, possuindo uma relevância diferente na decisão do consumidor.

Quadro 4 - Critérios Competitivos conforme RSL

<b>Critério</b>	<b>Autor</b>
<b>Custo</b>	(CHASE <i>et al.</i> , 2006); (SKINNER, 1974); (FINE; HAX, 1985); (HAYES, ROBERT; WHEELWRIGHT; CLARK, 1988); (PLATTS <i>et al.</i> , 1998); (SLACK; LEWIS, 2009); (HAYES <i>et al.</i> , 2005); (WHEELWRIGHT, 1984); (CHEN, YEN-TSANG <i>et al.</i> , 2015) (CORBETT; WASSENHOVE, 1993); (FERDOWS, K.; DE MEYER, 1990); (FLEURY; FLEURY, 2003)
<b>Velocidade</b>	(CHASE <i>et al.</i> , 2006); (PLATTS <i>et al.</i> , 1998); (SLACK; LEWIS, 2009)
<b>Flexibilidade</b>	(CHASE <i>et al.</i> , 2006); (SKINNER, 1974); (FINE; HAX, 1985); (HAYES, ROBERT; WHEELWRIGHT; CLARK, 1988); (PLATTS <i>et al.</i> , 1998); (SLACK; LEWIS, 2009); (HAYES <i>et al.</i> , 2005); (CHEN, YEN-TSANG <i>et al.</i> , 2015) (CORBETT; WASSENHOVE, 1993); (FERDOWS, K.; DE MEYER, 1990); (FLEURY; FLEURY, 2003)
<b>Qualidade</b>	(CHASE <i>et al.</i> , 2006); (SKINNER, 1974); (FINE; HAX, 1985); (HAYES; WHEELWRIGHT; CLARK, 1988); (PLATTS <i>et al.</i> , 1998); (WHEELWRIGHT, 1984); (SLACK; LEWIS, 2009); (CHEN <i>et al.</i> , 2015); (CORBETT; WASSENHOVE, 1993); (FERDOWS, K.; DE MEYER, 1990); (FLEURY; FLEURY, 2003)
<b>Sustentabilidade</b>	(CORRÊA; XAVIER, 2013); (LIRA; GOMES; CAVALCANTI, 2015)
<b>Inovação</b>	(HAYES; WHEELWRIGHT; CLARK, 1988); (TEIXEIRA <i>et al.</i> , 2014)
<b>Desempenho/Confiabilidade de entrega</b>	(CHASE <i>et al.</i> , 2006); (SKINNER, 1974); (FINE; HAX, 1985); (HAYES; WHEELWRIGHT; CLARK, 1988); (PLATTS <i>et al.</i> , 1998); (SLACK; LEWIS, 2009); (HAYES <i>et al.</i> , 2005); (WHEELWRIGHT, 1984); (CHEN <i>et al.</i> , 2015) (CORBETT; WASSENHOVE, 1993); (FERDOWS, K.; DE MEYER, 1990); (FLEURY; FLEURY, 2003); (SLACK, 1993); (PAIVA; CARVALHO JR.; FENSTERSEIFER, 2009)

Fonte: Elaborado pela autora

Dentre os critérios competitivos comentados por outros autores, apesar de sua importância para a sociedade de forma geral, a sustentabilidade é considerada como um critério competitivo que não é muito citado na literatura. Corrêa e Xavier (2013) comentam que existe uma crescente pressão social para que as organizações reduzam suas taxas de consumo de recursos naturais não renováveis com o objetivo de causar menor danos ao meio ambiente. Nesse sentido, Lira, Gomes e Cavalcanti (2015) expõem que empresas como a Natura, por exemplo, entram no mercado competindo com este critério, e indicam que os principais critérios competitivos podem ser definidos como custo, qualidade, flexibilidade, desempenho nas entregas e responsabilidade socioambiental.

De forma específica, o critério competitivo custo está relacionado aos preços de produtos e serviços, sendo considerado uma fonte de vantagem competitiva (WHEELWRIGHT, 1984). Corbett e Wassenhove (1993) contribuem indicando que tal

critério refere-se à percepção de todos os custos relacionados à produção, entrega, manutenção e descarte de produtos na empresa. Logo, a busca pelo baixo custo considera três conceitos, que são: produtividade, economia de escala e curva de experiência. Além disso, a performance também pode ser beneficiada por meio de melhorias nos processos e dos avanços tecnológicos (PAIVA; CARVALHO JR.; FENSTERSEIFER, 2009). Assim sendo, destaca-se a necessidade de emprego de esforços por parte da empresa para competir no mercado com uma produção de baixo custo, mantendo os custos de fabricação competitivos (HUSSAIN *et al.*, 2015).

No que tange à qualidade, esta associa-se às especificações do cliente a partir do momento que atende as suas expectativas (SLACK; LEWIS, 2009), podendo ser atingida, segundo Garvin (1987), a partir da apresentação de diferentes dimensões que definem qualidade dos produtos: desempenho, recursos, confiabilidade, conformidade, durabilidade, facilidade de manutenção e estética. Corbett e Wassenhove (1993) contribuem para a discussão indicando que a qualidade deve estar inserida em todos os aspectos físicos do processo, produto ou serviço entregues. Ademais, Hussain *et al.* (2015) ressaltam que a medida da qualidade está diretamente relacionada à importância da confiabilidade, durabilidade e inovação de um componente.

O desempenho de entrega ou confiabilidade de entrega relaciona-se ao tempo que a firma leva para manufaturar e para que o produto chegue aos consumidores (PAIVA; CARVALHO JR.; FENSTERSEIFER, 2009). Dessa forma, a entrega geralmente é definida pelas operações da organização, sendo uma delas a rapidez com que o produto ou serviço é entregue a um cliente pontualmente (PAIVA; CARVALHO JR.; FENSTERSEIFER, 2009; SLACK, 1993). Por outro lado, tem-se a confiabilidade dos produtos ou serviços desenvolvidos e entregues ao mercado. Também, atrelado ao desempenho de entrega e à confiabilidade, a taxa de melhorias aplicadas a produtos e processos é considerada um critério relevante (HUSSAIN *et al.*, 2015).

Na caracterização clássica de Schumpeter (1934) para os tipos de inovação, estão: novos produtos, novos métodos de produção, novas fontes de abastecimento, exploração de novos mercados e novas formas de organizar os negócios. Ao se relacionar os critérios de confiabilidade, flexibilidade e inovação, Corbet e Wassenhove (1993) defendem a existência de uma sobreposição nessas dimensões, sendo ressaltado pelos autores que a confiabilidade pode contribuir para a

flexibilidade, enquanto esta é considerada uma etapa para permitir mais inovação. Para Teixeira *et al.* (2014), o critério inovação refere-se à habilidade da empresa para renovar-se rapidamente.

Para Fleury e Fleury (2003), a importância da inovação é relevante quando está presente no processo diretamente atrelada ao produto. Os autores ainda destacam que a competitividade adquirida por empresas, cuja estratégia se baseia em inovação, pode atingir o sucesso por meio da introdução sistemática de produtos novos no mercado.

Quanto à flexibilidade, Wheelwright (1984) indica que ela se relaciona à capacidade de aumentar ou diminuir o ritmo da produção. Nesse seguimento, Slack (1993) caracteriza o critério competitivo flexibilidade como a capacidade das empresas em atenderem a mudanças de produtos ou serviços, visando aos prazos de entregas, volumes de produção, ampliação ou redução da variedade de produtos ou serviços, capacidade de mudanças quando necessário e, tendo como fator relevante por trás de tais alterações, a agilidade de adaptação das firmas às necessidades. Teixeira *et al.* (2014) corroboram com a discussão ao indicar que a flexibilidade é uma competência relacionada à capacidade da organização em reagir de maneira flexível a mudanças repentinas de demanda.

No que tange ao critério velocidade, este refere-se aos eventos externos, sendo analisado o tempo que o cliente leva para receber o produto após a solicitação (SLACK; LEWIS, 2009). De acordo com Slack (1993), para competir por velocidade, a empresa precisa estar alinhada ao tempo que o cliente deve esperar desde a emissão do pedido até o recebimento do produto efetivamente. Entretanto, muitas empresas usam o fator tempo para melhorar o desempenho em outros critérios competitivos, tais como: custo, confiabilidade de entrega e flexibilidade, não sendo tal fator utilizado com a finalidade de competir por prazos de entrega mais curtos (ROHR; CORREA, 1998).

Nesse contexto, observa-se que, para que as firmas possam concorrer com sucesso no mercado, é exigido que tenham uma missão de manufatura bem definida e clara, visando à possibilidade de que a manufatura possa ser um alicerce para a estratégia de negócios da organização ao concentrar seus esforços de maneira mais eficaz (SKINNER, 1974).

No entanto, Skinner (1974) salienta que, decorrente da complexidade identificada no âmbito das firmas, não é esperado que estas obtenham um bom

desempenho em todos os critérios ao mesmo tempo, sendo necessário que estes sejam desenvolvidos com sabedoria e de forma estratégica, alinhada aos objetivos e necessidades das empresas.

Sendo assim, buscando uma vantagem competitiva, as empresas devem alinhar suas estratégias de operações aos critérios competitivos de maior importância para os clientes e para aqueles que possuem potencial de melhorar em relação à concorrência (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2008). Ao considerar a impossibilidade de desenvolver diversos critérios competitivos concomitantemente, Skinner (1974) indica que a manufatura das empresas teria que priorizar um único critério competitivo por vez, pois não é viável ter uma performance relevante em mais de um critério ao mesmo tempo. No mesmo sentido, Boyer e Lewis (2002) evidenciam que, ao executar as estratégias de operações, as organizações encontram conflitos de escolhas (*trade-offs*) que precisam ser considerados. Para Teixeira *et al.* (2014), os *trade-offs* em estratégia de operações são considerados como as incompatibilidades operacionais existentes entre diferentes critérios competitivos.

Com o objetivo de validar os critérios competitivos adequados no presente estudo, todos os critérios competitivos mencionados na literatura foram considerados. Sendo assim, as categorias de análise definidas para o grupo Critérios Competitivos nesta tese são: **custo, desempenho de entrega, velocidade, flexibilidade, qualidade, sustentabilidade e inovação.**

A quantidade e variedade de tecnologias associadas à I4.0 dificulta a compreensão do impacto que cada tipo de tecnologia causa à competitividade dos diferentes setores da firma. A partir da questão de pesquisa proposta nesta tese, o tema critérios competitivos contribui para o corpo de conhecimento à medida que avança na proposta do *framework* para priorização de tecnologias da I4.0 a partir dos critérios competitivos com uma visão estratégica. Por esse motivo, uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) foi conduzida com o objetivo de suportar esta proposta de *framework*, conforme os procedimentos sugeridos por Morandi e Camargo (2015).

O Apêndice A contém o protocolo de pesquisa utilizado para esta revisão, no qual constam detalhes sobre as decisões tomadas, critérios de busca e outras informações relevantes para a replicação da revisão. A Tabela 1 apresenta as consultas realizadas, relacionando a questão de revisão correspondente indicada no protocolo de pesquisa, as fontes de busca e número de resultados encontrados. Para realizar as pesquisas pelos trabalhos científicos, as palavras-chave foram inseridas

nas seguintes bases de dados: EBSCO, *Web of Science*, Scopus, Scielo e Emerald. As palavras-chave utilizadas foram, em português e inglês, conforme serão apresentadas na Tabela 1. A escolha ocorreu com o objetivo de buscar na literatura trabalhos sobre *critérios competitivos e I4.0*. Para tanto, foram realizadas as etapas de busca, seleção, leitura e análise dos artigos.

Foram encontrados um total de 65 (sessenta e cinco) artigos nas bases de dados com os termos de buscas selecionados. Durante essa busca, identificou-se que 4 (quatro) dos artigos eram repetidos. Em vista disso, eles foram excluídos da base de dados, ficando um total de 61 (sessenta e um) artigos a serem analisados, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados da RSL nas Bases de Dados Seleccionadas

Termo de Busca	Rótulos de Campos	Ebsco	Web Science of	Scopus/ Elsevier	Emerald	Total	Artigos Repetidos	Total de Artigos
"Indústria 4.0" AND "Critério Competitivo"	Texto Completo	0	0	0	0	0	0	0
<i>"Industry 4.0" AND "Competitive Critterion"</i>	Texto Completo	0	0	0	0	0	0	0
<i>"Advanced Manufacturing" AND "Competitive Critterion"</i>	Texto Completo	0	0	0	0	0	0	0
<i>"Industrial Internet" AND "Competitive Critterion"</i>	Texto Completo	0	0	0	0	0	0	0
<i>"Smart Manufacturing" AND "Competitive Critterion"</i>	Texto Completo	0	0	0	0	0	0	0
Indústria 4.0" AND "Dimensões Competitivas"	Texto Completo	0	0	0	0	0	0	0
<i>"Industry 4.0" AND "Competitive dimensions"</i>	Texto Completo	0	1	2	2	5	1	4
<i>"Advanced Manufacturing" AND "Competitive dimensions"</i>	Texto Completo	0	1	2	57	60	3	57
<i>"Industrial Internet" AND "Competitive dimensions"</i>	Texto Completo	0	0	0	0	0	0	0
<i>"Smart Manufacturing" AND "Competitive dimensions"</i>	Texto Completo	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>			<b>2</b>	<b>4</b>	<b>59</b>	<b>65</b>	<b>4</b>	<b>61</b>

Fonte: Elaborada pela autora

A pesquisa por estudos primários, realizada a partir da estratégia de busca definida para RSL no Apêndice A, retornou um total de 65 (sessenta e cinco) estudos. Todos os títulos retornados foram lidos, sendo que, induzido pelo título, foram lidos 61 (sessenta e um) abstracts. Destes, os estudos que atendiam aos critérios de inclusão e apresentaram relação com o tema desta tese foram inspecionados (ADLER; DOREN, 2014), conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados das Buscas por Estudos Primários

Fonte	Termo de Busca	Rótulos de Campos	Resultados de Busca	Títulos Lidos	Abstract Analisados	Artigos Lidos
Web of Science	<i>"Industry 4.0" AND "Competitive dimensions"</i>	Texto Completo	1	1	1	1
Scopus/ Elsevier	<i>"Industry 4.0" AND "Competitive dimensions"</i>	Texto Completo	2	2	2	2
Emerald	<i>"Industry 4.0" AND "Competitive dimensions"</i>	Texto Completo	2	2	1	1
Web of Science	<i>"Advanced Manufacturing" AND "Competitive dimensions"</i>	Texto Completo	1	1	1	1
Scopus/ Elsevier	<i>"Advanced Manufacturing" AND "Competitive dimensions"</i>	Texto Completo	2	2	2	2
Emerald	<i>"Advanced Manufacturing" AND "Competitive dimensions"</i>	Texto Completo	57	57	54	11
<b>Total</b>			<b>65</b>	<b>65</b>	<b>61</b>	<b>18</b>

Fonte: Elaboradora pela autora

Dos estudos inspecionados, 18 (dezoito) foram lidos na íntegra. No entanto, apenas 4 (quatro) apresentaram contribuições relevantes para o presente trabalho. O Quadro 5 apresenta a fonte, os títulos, objetivos, autores e ano dos trabalhos incluídos.

Quadro 5 - RSL Critérios Competitivos

Nº	Fonte	Título	Objetivo	Referência	Ano
1	EMERALD	Evaluating ecological sustainable performance measures for supply chain management.	O objetivo deste artigo é apresentar uma metodologia para ajudar a avaliar, selecionar e monitorar a medição de desempenho sustentável da cadeia de suprimentos que pode ser integrada a um sistema de gerenciamento de desempenho (PMS).	Bai, Chunguang; Sarkis, Joseph; Wei, Xiaopeng; Koh, Lenny.	2012
2	EMERALD	A study of technology adoption in manufacturing firms.	O modelo de quatro estágios de Hayes e Wheelwright (H-W) que descreve o papel estratégico da função de fabricação é amplamente aceito na literatura. No entanto, existem poucas pesquisas que examinaram os fatores subjacentes ao modelo H-W. Este artigo tem como objetivo preencher essa lacuna de pesquisa, desenvolvendo um instrumento para medir fatores de eficácia estratégica de fabricação de uma empresa com base no modelo H-W.	Jain, Bhurchand; Adil, Gajaendra K.; Ananthakumar, Usha.	2013
3	WEB OF SCIENCE	Investigating flexibility as a performance dimension of a Manufacturing Value Modeling Methodology (MVMM): a framework for identifying flexibility types in manufacturing systems.	Verificar se diferentes tipos de flexibilidade, que afetam o sistema de fabricação completo, podem ser melhor identificados com a Metodologia de Modelagem de Valor de Fabricação (MVMM) existente.	Burger, Niklas; Demartini, Melissa; Tonelli, Flavio; Bodendorf, Freimut; Testa, Chiara.	2017
4	EMERALD	A method to align functionalities of a manufacturing execution system with competitive priorities.	O objetivo deste artigo é alinhar a implementação das funcionalidades dos sistemas de execução de manufatura (MES) com as dimensões competitivas de manufatura de empresas do setor de mecânica metalúrgica.	Sellitto, Miguel Afonso; Vargas, Elisandro João.	2019

Fonte: Elaborado pela autora

Diante dos estudos apresentados no Quadro 5, o objetivo do estudo de Bai *et al.* (2012) consiste em apresentar uma metodologia para ajudar a avaliar, selecionar e monitorar o desempenho sustentável da medição da cadeia de suprimentos que pode ser integrada a um sistema de gerenciamento de desempenho. A teoria dos conjuntos aproximados de vizinhança baseada em cinza foi usada para ajudar a chegar a um conjunto principal de negócios importantes e medidas de desempenho ambiental para a CS sustentáveis. O modelo de referência de operações da CS (*Supply Chain Operations Reference* - SCOR) é usado para desenvolver medidas comerciais e ambientais para a cadeia de suprimentos. O modelo SCOR categoriza os processos de cinco estágios de suprimentos incluindo: plano, origem, fabricação, entrega e retorno. As medidas SCOR para as dimensões competitivas categorizadas foram: custo, tempo, qualidade, flexibilidade e inovação. Bai *et al.* (2012) concluem que, com uma ilustração de caso, mostram a aplicabilidade da metodologia e que a análise de sensibilidade e as variações nas considerações dos resultados podem influenciar significativamente o conjunto de medidas-chave de desempenho para uma cadeia de suprimentos sustentável. O estudo de Bai *et al.* (2012) contribui para reforçar o critério competitivo **sustentabilidade**, pois os autores expõem que faltam medidas orientadas ambientalmente e que o modelo SCOR as contempla.

No estudo de Jain, Adil e Ananthakumar (2013), os autores expõem que o modelo de quatro estágios de Haves e Wheelwright (HW), que descreve o papel estratégico da função de fabricação, é amplamente aceito na literatura. No entanto, há pouca pesquisa que examinou os fatores subjacentes ao modelo HW. O estudo de Jain, Adil e Ananthakumar (2013) tem como objetivo preencher essa lacuna de pesquisa e desenvolver um instrumento para medir fatores de eficácia estratégica de fabricação de uma empresa baseado no modelo que chamaram de HW.

Em uma das etapas da pesquisa de Jain, Adil e Ananthakumar (2013), foi realizada a validação de critérios pelos autores, nesse caso, se as medidas (coletivamente) da eficácia estratégica da manufatura fossem correlacionados positivamente com o desempenho da empresa, poder-se-ia dizer que o instrumento tem validade relacionada a critérios. Os autores definiram, então, que a preparação, habilidade ou capacidade permite aos fabricantes processar uma estratégia de negócios específica do mercado do produto e, para tanto, usaram as seguintes dimensões competitivas: **custo, qualidade, entrega, flexibilidade e inovação**. Ademais, o estudo dos autores trouxe como contribuição ao modelo HW o

desenvolvimento de 14 medidas que avaliam a eficácia estratégica da manufatura de extensa revisão da literatura e a experiência do estudo de caso aprofundado em uma companhia. Além disso, contribui ao auxiliar os gerentes a avaliar os pontos fortes e fracos de fabricação para fazer as melhorias (JAIN; ADIL; ANANTHAKUMAR, 2013).

Dentre os estudos, destaca-se o estudo de Burger *et. al* (2017), que teve como objetivo verificar se diferentes tipos de flexibilidade afetam o sistema de produção completo, que podem ser melhor identificados com a metodologia de modelagem de valor de fabricação existente - *Manufacturing Value Modeling Methodology* (MVMM). Os autores definem **flexibilidade** como umas das dimensões competitivas que geralmente não fornece uma definição detalhada em suas diferentes manifestações. Então, dentro de um cenário de novos roteiros tecnológicos e estratégia de alta tecnologia como a I4.0, essa questão se torna ainda mais importante quando se considera o potencial que as máquinas inteligentes possuem ao interagirem com seres humanos, como CPS, e a responsabilidade de aumentar a conectividade e o acesso de dados por meio de tecnologias como a IoT, que oferece maior flexibilidade.

A **flexibilidade**, no estudo de Burger *et al.* (2017), foi definida como a capacidade de se adaptar às mudanças no ambiente do sistema da manufatura. Também é evidenciado no estudo que a flexibilidade é multidimensional e específica, sendo que por meio desta definição foi projetado um catálogo considerando fatores internos e externos, o valor de fabricação, sendo utilizada a MVMM. Segundo Burger *et al.* (2017), ao utilizar a MVMM, os autores projetam um catálogo de flexibilidade com o objetivo de fornecer uma estrutura para apoiar as empresas em suas decisões e na busca por agregar valor aos seus produtos e serviços.

Com uma revisão da literatura, Burger *et al.* (2017) mostram que há uma falta de identificação de fatores, no que tange à flexibilidade. Com a estrutura MVMM, foram identificados quatro possíveis tipos de flexibilidade para sistemas de manufatura, que são: aspecto variante (visa não apenas à flexibilidade para produzir peças semelhantes, mas também às peças novas de linha de produção sem a necessidade de grande esforço de produção); capacidade de expansão (capacidade de organizar o mix de produtos e a ordem de produção de maneiras diferentes, considerando o esforço necessário para cada etapa); programação (intervalo de saída em que o sistema de fabricação pode ser operado de maneira lucrativa, em comparação ao esforço exigido); e volume (quantidade de recursos de fabricação adicionais que podem ser acrescentados ao sistema de fabricação, em comparação com o esforço

necessário). A principal contribuição de Burger *et al.* (2017) consiste na discussão sobre os tipos de flexibilidade e a aplicação de um único critério no estudo.

Sellitto e Vargas (2019) apresentaram como objetivo alinhar a implementação dos sistemas de execução de fabricação - *manufacturing execution systems* (MES) com dimensões competitivas de fabricação em duas empresas da indústria metalmeccânica. A partir de modelagens quantitativas, os autores organizaram 24 funcionalidades do MES, analisando resultados obtidos por meio de revisão da literatura. O estudo priorizou as funcionalidades e as dimensões competitivas de fabricação, avaliou as contribuições, qualidade da implementação e classificou as funcionalidades.

Conforme os estudos de Sellitto e Vargas (2019), percebe-se que suas pesquisas se fundamentaram com cinco dimensões competitivas, as quais foram chamadas de dimensões primárias, que são: **custo, qualidade, flexibilidade, confiabilidade e inovação**. Como resultados, apresentaram um método que permite alinhar a implementação do MES às funcionalidades das dimensões competitivas da fabricação, em que o método foi testado em dois estudos de caso e se obtiveram resultados consistentes. Os resultados indicaram duas funcionalidades no primeiro caso e cinco no segundo caso. Possuem alta contribuição e qualidade; três funcionalidades no primeiro e seis no segundo caso (têm baixa contribuição e qualidade). O segundo deve ser descontinuado e o resto tem graduações intermediárias e devem ser estudados caso a caso. A principal contribuição do estudo é o método, que pode ser replicado.

Os artigos contribuíram (i) para a validação dos critérios competitivos usados no estudo; (ii) para a relevância da utilização dos critérios; (iii) para verificar se existia algum estudo de critérios competitivos para a I4.0; e (iv) para a construção do referencial teórico.

Os autores Bai *et al.* (2012), Jain, Adil e Ananthakumar (2013), Burger *et. al* (2017) e Sellitto e Vargas (2019) validam os critérios selecionados nesta tese, que são: **Custo, Desempenho de Entrega, Velocidade, Flexibilidade, Qualidade, Sustentabilidade e Inovação**.

Na seção a seguir, apresenta-se uma abordagem sobre priorização de tecnologias.

## 2.5 PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS

A priorização de tecnologias vem de uma abordagem de tecnologias críticas<sup>4</sup>, da ideia da palavra “crítico” que implica “catástrofe”, usada como expressão de “tecnologias chave”, por exemplo. No caso, são tecnologias que têm o potencial para influenciar a competitividade nacional e a qualidade de vida. Dessa forma, esta abordagem abrange a aplicação de critérios para medir a relevância ou a criticidade de determinadas tecnologias para esses objetivos (MILES; SARITAS; SOKOLOV, 2016).

A partir da questão de pesquisa proposta nesta tese, o tema priorização de tecnologias contribuirá para o corpo de conhecimento à medida que avança na proposta de um framework teórico para a priorização de tecnologias. Por esse motivo, uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) foi conduzida com o objetivo de suportar esta proposta de priorização, conforme os procedimentos sugeridos por Morandi e Camargo (2015). O Apêndice A contém o protocolo de pesquisa utilizado para esta revisão, no qual constam detalhes sobre as decisões tomadas, critérios de busca, e outras informações relevantes para a replicação da revisão. O Quadro 6 apresenta as buscas realizadas, relacionando a questão de revisão correspondente indicada no protocolo de pesquisa, as fontes de busca e o número de resultados encontrados. Para realizar as buscas pelos trabalhos científicos, as palavras-chave foram inseridas nas seguintes bases de dados: EBSCO, Web of Science, Scopus, Scielo e Emerald. As palavras-chave utilizadas foram, em português e inglês, conforme apresentadas no Quadro 6. A escolha ocorreu com o objetivo de buscar na literatura trabalhos sobre priorização de tecnologias e indústria 4.0, em que ocorreram as etapas de busca, seleção, leitura e análise dos artigos.

---

<sup>4</sup> O termo se deriva da identificação americana de materiais estratégicos e críticos para o Exército dos Estados Unidos em 1940, que não foram produzidos nas quantidades adequadas respectivamente. O termo continuou sendo usado, ainda, na década de 1950, que significava materiais em estoque de 5 anos que deveriam ser mantidos no caso de conflitos militares. Mas essa ideia começou a ser utilizada em materiais críticos para outros setores econômicos e para tecnologias e amplamente utilizadas em toda a economia (MILES; SARITAS; SOKOLOV, 2016).

Quadro 6 - Resultados das Buscas por Estudos Primários

Fonte	Termo de Busca	Rótulos de Campos	Resultados de Busca	Títulos Lidos	Abstract Analisados	Artigos Lidos
EbscoHost	"Prioritization of technologies" AND "industry 4.0"	Texto Completo	2	2	1	1
EbscoHost	"Prioritization of technologies"	Resumo	5	5	2	2
EbscoHost	"Priorização de tecnologias" AND "Indústria 4.0"	Resumo	0	0	0	0
EbscoHost	Priorização de tecnologias	Resumo	0	0	0	0
Web of Science	"Prioritization of technologies" AND "industry 4.0"	Resumo	0	0	0	0
Web of Science	"Prioritization of technologies"	Resumo	7	7	4	1
Web of Science	"Priorização de tecnologias" AND "Indústria 4.0"	Resumo	0	0	0	0
Web of Science	Priorização de tecnologias	Resumo	0	0	0	0
Scopus/Elsevier	"Prioritization of technologies" AND "industry 4.0"	Título-Abstract-Palavra-Chave	0	0	0	0
Scopus/Elsevier	"Prioritization of technologies"	Título-Abstract-Palavra-Chave	58	58	8	2
Scopus/Elsevier	"Priorização de tecnologias" AND "Indústria 4.0"	Título-Abstract-Palavra-Chave	0	0	0	0
Scopus/Elsevier	Priorização de tecnologias	Título-Abstract-Palavra-Chave	0	0	0	0
Scielo	"Prioritization of technologies" AND "industry 4.0"	Resumo	0	0	0	0
Scielo	"Prioritization of technologies"	Resumo	0	0	0	0
Scielo	"Priorização de tecnologias" AND "Indústria 4.0"	Resumo	2	2	2	1
Scielo	Priorização de tecnologias	Resumo	0	0	0	0
Emerald	"Prioritization of technologies" AND "industry 4.0"	Abstract	0	0	0	0
Emerald	"Prioritization of technologies"	Abstract	36	36	14	1
Emerald	"Priorização de tecnologias" AND "Indústria 4.0"	Abstract	0	0	0	0
Emerald	Priorização de tecnologias	Abstract	0	0	0	0
<b>Total</b>			<b>110</b>	<b>110</b>	<b>31</b>	<b>8</b>

Fonte: Elaborado pela autora

A pesquisa por estudos primários, realizada a partir da estratégia de busca definida para RSL no Apêndice A, retornou um total de 110 (cento e dez) estudos. Todos os títulos retornados foram lidos, sendo que, induzido pelo título, foram lidos trinta e um *abstracts*. Destes, os estudos que atendiam aos critérios de inclusão e apresentaram relação com o tema desta tese foram inspecionados (ADLER; DOREN, 2014).

Dos estudos inspecionados, seis foram lidos na íntegra, pois dois artigos eram repetidos. Apenas seis apresentaram contribuições relevantes para o presente trabalho. O Quadro 7 apresenta a fonte, os títulos, objetivos, autores e ano dos trabalhos incluídos.

Quadro 7 - RSL Priorização de Tecnologias e Indústria 4.0

Nº	Fonte	Título	Objetivo	Referência	Ano
1	WEB OF SCIENCE	The Prioritization of Technologies in a Research Laboratory.	O objetivo é priorizar tecnologias no Laboratório de Tecnologia de Materiais do Exército.	Emanuel Melachrinoudis; Ken Rice.	1991
2	Scopus	A scoring method for prioritizing non-mutually-exclusive Information Technologies.	O objetivo é apresentar um método de pontuação que incorpora as correlações das tecnologias da informação em seu processo de priorização.	Jin S. Kim; H. Joseph Wen; John C. Rich.	2009
3	Scopus	Facilitating Technology Development Progression through Quantitative Uncertainty Assessments.	O objetivo do estudo é demonstrar como as informações de quantificação da incerteza podem ser usadas para ajudar decisões de planejamento de experimentos por meio do uso de uma modelagem do sistema de aeronaves baseada em física.	Katherine N. Gatian; Dimitri N. Mavris.	2014
4	Scopus	Resilience of business strategy to emergent and future Conditions.	O artigo apresenta uma metodologia para quantificar e gerenciar a influência disruptiva de perspectivas de sistemas individuais para a priorização da tecnologia de investimentos em todo o sistema de sistemas.	Armand Quenum; Heimir Thorisson; Desheng Wu; James H. Lambert.	2019
5	EBSCO	Metodología para la priorización de tecnologías emergentes de recobro mejorado químico.	Uma metodologia que permita identificar aqueles com maior potencial para implementação em campo a médio prazo ajustado às necessidades dos depósitos colombianos.	Claudia Lorena Delgadillo Aya; Venus Minerva Díaz Guardia; Gustavo Adolfo Maya Toro; Rubén Hernán Castro Garcia; Henderson Ivan Quintero Pérez.	2018
6	EBSCO	The prioritization of technologies and public R&D roles between the manufacturing and service industries in the fourth industrial revolution	O objetivo deste estudo é revelar as semelhanças e diferenças entre as indústrias de manufatura e serviços na priorização de tecnologias e pesquisa e desenvolvimento (P&D) pública, juntamente com a complementação de propriedades de tecnologia e P&D público no contexto da Quarta Revolução Industrial.	Jinwon Kang; Jong-Seok Kim; Seonmi Seol.	2019

Fonte: Elaborado pela autora

O estudo a ser destacado dentre os analisados é o trabalho de Kang, Kim e Seol (2019), cujo objetivo do estudo foi revelar as semelhanças e diferenças entre indústrias de manufatura e serviços na priorização de tecnologias e pesquisa e desenvolvimento (P&D) pública, complementando os dados de priorização com uma análise das propriedades das tecnologias e dos papéis públicos de pesquisa e desenvolvimento alcançados pelo *Language network analysis* (LNA). Os autores fizeram duas rodadas de pesquisas utilizando Delphi e técnicas de triangulação. O método Delphi foi combinado com o *brainstorming* na pesquisa na primeira rodada, enquanto a pesquisa Delphi da segunda rodada se concentrou em julgamento de especialistas, e finalmente foi desenvolvida uma maneira de usar LNA em pequenas amostras com base na teoria fundamentada. Por fim, os autores expõem que a triangulação pode ajudar e aumenta a validade e o rigor no processo de pesquisa. A saber, conforme Dresch, Lacerda e Antunes Jr (2015), o rigor é fundamental para uma pesquisa ser considerada válida, confiável e para que possa contribuir para o crescimento do conhecimento de determinada área.

Kang, Kim e Seol (2019) concluem que o estudo identifica diferentes priorizações de tecnologias-chave similares entre indústria de manufatura e serviços, de modo que é possível notar diferentes impactos tecnológicos para as duas indústrias na quarta revolução Industrial. A tecnologia de fábrica inteligente é a primeira prioridade na indústria de transformação, enquanto a inteligência artificial é a primeira prioridade no setor de serviços. As propriedades das três tecnologias comuns: inteligência artificial, *Big data* e Internet das coisas em ambas as indústrias são resumidas em hiper inteligência sobre hiper conectividade. Além disso, constata-se que diferentes prioridades tecnológicas nas indústrias de serviços e manufatura exigem diferentes abordagens para papéis públicos de P&D.

Outro estudo que apresentou informações pertinentes à construção desta pesquisa, foi o estudo de Delgadillo Aya *et al.* (2018), uma vez que priorizava tecnologias emergentes como metodologia que permita identificar aqueles com maior potencial para implementação em campo a médio prazo ajustado às necessidades dos depósitos colombianos. No caso de campos colombianos, foi necessário priorizar tecnologias emergentes, levando em consideração as necessidades dos campos de interesse e utilizando critérios chaves, a fim de destinar esforços aos de maior aplicabilidade. O foco inicial foi identificar as tecnologias emergentes de recuperação de produtos químicos, que incluem: injeção de polímeros modificados com diferentes

funcionalidades, nanotecnologia para recuperação melhorada, novos surfactantes, injeção de água modificada e fortes clivagens químicas.

A metodologia de priorização de tecnologias emergentes proposta pelos autores Aya *et al.* (2018) iniciou com a identificação e caracterização de tecnologias, em que paralelamente foram definidos os critérios a serem avaliados e que representam uma matriz. Definiu-se, então, sete critérios que avaliam conjuntamente o nível de maturidade e incerteza da tecnologia, seu impacto nas reservas, impacto econômico, ambiental, comercialidade e alinhamento estratégico do plano de negócios da empresa. Por fim, a metodologia finaliza com a avaliação tecnológica que é feita com base nos dados da identificação das tecnologias e dos critérios de avaliação. Com isso, obtém-se um vetor com uma pontuação total para cada tecnologia, sendo possível a classificação e a subsequente priorização. Aya *et al.* (2018) aplicaram a priorização de tecnologias emergentes com modelo matemático como alternativa ao aumento do fator de recuperação e incorporação de reservas em ativos colombianos.

Segundo Kim, Wen e Rich (2009), a maioria dos estudos assumiu que as tecnologias são mutuamente exclusivas e que não há relação entre as tecnologias. No entanto, salienta que algumas tecnologias estão inter-relacionadas pelo menos até certo ponto. Como por exemplo, hardware e eletrônicos de computador, internet e segurança da informação, que são considerados intimamente relacionados. Assim sendo, o objetivo do artigo consiste em apresentar um método de pontuação que incorpora as correlações das TIs em seu processo de priorização. Portanto, ao priorizar as tecnologias de informação, as correlações mútuas entre as tecnologias devem ser consideradas. Os autores indicam que houve uma correlação entre as tecnologias em pesquisas de estratégias e desenvolvimento de tecnologia da informação, sistema de informação de empresas. Para refletir sobre as correlações, eles usaram o *Método Fuzzy Clustering* (FCM) para Análise de Cluster (CA) para extrair as correlações entre as tecnologias da informação.

Dentre as contribuições do estudo de Kim, Wen e Rich (2009), a primeira foi um novo método de pontuação integrado para priorização de TI com vistas a ajudar os governos do mundo real na tomada de decisão. Segundo, trata-se de um método de pontuação proposto que combina a priorização de TI com um problema limitado de alocação de recursos. Terceiro, usando Delphi, Hierarquia Analítica de Processo (AHP) e CA, são extraídos os fatores quantitativos e qualitativos para tomada de

decisão na priorização de TI e alocação de recursos. Quarto, o método de pontuação é baseado nas correlações mútuas das TIs, permitindo que os gerentes considerem as correlações mútuas das TIs durante o processo de priorização e desenvolvimento estratégico. Por fim, foi feito um modelo matemático que converte facilmente variáveis qualitativas em medições quantitativas comparáveis. Essas melhorias fornecem uma abordagem de tomada de decisão muito mais eficaz.

O estudo de Gatian e Mavris (2014) tem como objetivo demonstrar como as informações de quantificação da incerteza podem ser usadas para ajudar em decisões de planejamento de experimentos por meio de uma modelagem do sistema de aeronaves baseada em física. Os autores expõem que a comunidade de avaliação de riscos desenvolveu uma classificação da incerteza em viável e eficaz: aleatória e epistêmica. A aleatória pode ser definida como a variação inerente, variabilidade, estocástica, aleatória, incerteza devido ao acaso, que chamam do tipo “A”, que não podem ser reduzidas, mas podem ser controladas. No entanto, engenheiros tentam quantificar o impacto de incerteza aleatória em um sistema ou análise de risco, mas não planejam ações para reduzi-las. A incerteza epistêmica pode ser definida como incerteza devido ao conhecimento incompleto, denominada redutível, incerteza do conhecimento, subjetiva, que chamam do tipo “B”, cognição. Ao contrário da aleatória, a epistêmica é considerada redutível porque pode ser reduzida e potencialmente eliminada com um maior estado de conhecimento. Por isso, é comum na comunidade de avaliação de risco, para se referir à incerteza epistêmica simplesmente como incerteza, e ao se referir à incerteza aleatória, como variabilidade. Os autores complementam que usar classificações de incerteza aleatória e epistêmica incluem melhoria na interpretação de informações incertas por analistas e tomadores de decisão.

Observaram-se, no estudo de Gatian e Mavris (2014), duas formas principais de priorizar as tecnologias para experimentação e avaliações de incerteza. Primeiramente, as tecnologias podem ser comparadas em relação à quantidade de incerteza e seu impacto no desempenho. A segunda maneira pela qual as tecnologias podem ser comparadas é com relação a como suas incertezas impactam um objetivo no nível do sistema. Então, pode ser dada uma prioridade mais alta se for importante identificar o desempenho do sistema o mais rápido possível. Esse estudo forneceu uma demonstração completa das diferentes maneiras como os resultados obtidos de

um ambiente baseado em física podem ser utilizados para suporte à decisão de experimentação (GATIAN; MAVRIS, 2014).

No estudo de Kim, Wen e Rich (2009), o objetivo foi apresentar uma metodologia para quantificar e gerenciar a influência disruptiva de perspectivas de sistemas individuais para priorização de investimentos em todo o sistema. Foi analisada a resiliência de sistemas de investimentos em tecnologia da informação de agências governamentais à evolução das condições políticas, econômicas e tecnológicas. As quatro perspectivas de sistemas consideradas foram: limitações fiscais, avanços da tecnologia, violação de dados e influência política. E os critérios para avaliar os investimentos utilizados: execução da missão, inovação, colaboração, eficiência de custos e segurança. Os autores utilizaram a correlação de Spearman e chegaram à classificação dos investimentos, com uma avaliação das perspectivas dos sistemas e uma determinação da resiliência em todas as perspectivas, mas sinalizaram que pode ser explorado nos resultados o ajuste nos pesos dos critérios dos sistemas.

No estudo de Melachrinoudis e Rice (1991), o objetivo foi priorizar tecnologias no laboratório de tecnologia de materiais do exército. Um modelo matemático foi desenvolvido para combinar subjetivamente os objetivos e classificações de tecnologia para critérios, a fim de obter índices multicritério compostos para as tecnologias. Cabe observar que o modelo de priorização de tecnologias foi realizado em três etapas: 1) os critérios a serem usados para avaliar as tecnologias foram identificados e classificados; 2) um modelo matemático geral foi formulado para determinar as medidas tecnológicas; e 3) foi desenvolvida uma metodologia para a determinação dos vários tipos de pesos e classificações no modelo para produzir medidas da tecnologia. Por fim, os critérios foram pareados e comparados para derivar pesos de prioridades relativas usando o processo de hierarquia analítica de Saaty (AHP). Embora o modelo de priorização tenha sido desenvolvido especificamente para o exército, toda a abordagem, incluindo a seleção de critérios, a determinação de pesos e as classificações, é genérica e pode ser utilizada com pequenas modificações para avaliar e classificar tecnologias em outros laboratórios de pesquisa.

Os estudos de Melachrinoudis e Rice (1991), Kim, Wen e Rich (2009), Gatian e Mavris (2014), Delgadillo Aya *et al.* (2018), Kang, Kim e Seol (2019), Quenum *et al.* (2019) abordam a priorização de tecnologias como um tema importante na academia,

mas não levam em consideração: (i) a estratégia de produção e os critérios competitivos; (ii) diferentes contextos nacionais; (iii) estratégia de produção para discussão de valor na firma; (iv) não abordam a estratégia de produção para discussão e priorização de investimentos em novas tecnologias da I4.0. Nesse sentido, cabe esclarecer que o único estudo sobre priorização de tecnologias na I4.0 foi o de Kang, Kim e Seol (2019), porém o objetivo do referido estudo foi revelar as semelhanças e diferenças entre as indústrias de manufatura e serviços na priorização de tecnologias e pesquisa e desenvolvimento (P&D), demonstrando, com isso, não só a importância da RSL apresentada, mas também a relevância do tema desta tese.

Na seção a seguir, serão apresentados os procedimentos metodológicos.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O método de pesquisa utilizado, *Design Science Research* (DSR), cujo paradigma epistemológico é a ciência do *design*, foi escolhido por ser adequado quando o objetivo final da pesquisa é a proposta de solução para apoiar problemas reais (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015; PEFFERS *et al.*, 2007; WINTER, 2008). Assim, a pesquisa pode ser definida como uma indagação sistemática com o propósito de desenvolvimento ou de refinamento de teorias e, em alguns casos, visa à resolução de problemas, como a proposta de priorização de tecnologias da I4.0 desta tese.

Por conseguinte, para desenvolver a pesquisa na perspectiva científica, resta seguir alguns procedimentos a fim de garantir a confiabilidade dos resultados. Neste capítulo, apresentam-se os procedimentos aplicados para a condução deste estudo: métodos científicos, métodos de pesquisa, método de trabalho, técnica de coleta e análise de dados e, por fim, o *design* do artefato.

#### 3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A condução da DSR confere a relação com dois fatores fundamentais para o sucesso da pesquisa, que são o rigor e a relevância. O rigor metodológico assegura a validade da pesquisa e seu reconhecimento como um estudo confiável e bem conduzido, o qual procura reduzir o distanciamento entre a teoria e a prática. A relevância da pesquisa é essencial para as organizações (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015). De acordo com Cole *et al.* (2005), em se tratando da DSR, mesmo tendo um viés pragmático, o argumento é que a pesquisa deve necessariamente dar uma dupla contribuição à academia e à prática. Primeiro somando-se à teoria existente, a fim de criar um valor científico.

Ao desenvolver uma pesquisa científica, é fundamental seguir alguns procedimentos que garantam a confiabilidade dos resultados (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015). Nesse sentido, esta pesquisa segue os pressupostos do pêndulo proposto por Dresch, Lacerda e Antunes Jr. (2015), como uma estratégia para a condução de pesquisas científicas, conforme Figura 14.

Figura 14 - Estratégia para Condução de Pesquisas Científicas



Fonte: Dresch, Lacerda e Antunes Jr. (2015, p.16)

A **razão para realizar** esta pesquisa surgiu da necessidade de se propor um *framework* para priorização de implantação das tecnologias da I4.0 para fins de tomada de decisão em investimentos a partir da estratégia de produção para a geração de valor, aspectos apontados no problema de pesquisa e na justificativa. Com vistas a operacionalizá-la, inicialmente, explora-se a literatura que versa sobre o tema e, posteriormente, propõe-se o *framework* adequado para a priorização das tecnologias da I4.0 para a melhor tomada de decisão em um ambiente cada vez mais dinâmico e competitivo. O ambiente competitivo dinâmico tem exigido das organizações respostas cada vez mais rápidas e assertivas (D'AVENI; GUNTHER, 1994; MCAFEE; BRYNJOLFSSON, 2012).

Sendo assim, o **objetivo desta pesquisa** é explorar um comportamento do fenômeno que se está estudando (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015). Nesse caso, a proposta de *framework* para priorização de implantação das tecnologias da I4.0, a partir da estratégia de produção para a geração de valor da firma, auxilia na prática da gestão das empresas.

A grande quantidade de tecnologias da I4.0, a concorrência entre as organizações, as exigências dos clientes, as limitações de orçamento e o aumento de competitividade afetam a decisão de investimento e a escolha de quais tecnologias as empresas devem priorizar. Desse modo, a proposta de *framework* para priorização

fomenta uma tomada de decisão com menor risco e incerteza, tendo em vista os diferentes contextos nacionais e os critérios competitivos que cada firma compete e gera valor.

O **pragmatismo é a filosofia** adotada nesta pesquisa. Esse conceito é entendido como um princípio em que as ideias são instrumentos da ação, de modo que elas são úteis quando produzem efeitos práticos. Neste estudo, essa perspectiva culmina com o desenvolvimento de uma proposta de *framework* para priorização de implantação das tecnologias da I4.0 por meio da estratégia de produção como uma ferramenta de apoio à tomada de decisões estratégicas. Desse modo, a ciência pragmática é teoricamente e metodologicamente rigorosa e relevante (SAUNDERS, MARK; LEWIS; THORNHILL, 2016). O conceito é entendido como uma doutrina em que as ideias são instrumentos de ação, de modo que elas são úteis quando produzem efeitos práticos. Sendo assim, estabelece-se uma oposição ao intelectualismo e, mais do que isso, reduz-se esse princípio a instâncias utilitárias e de ações concretas (SAUNDERS; LEWIS; HORNHILL, 2009).

Assim, os resultados dessa priorização com base nos critérios competitivos definirão as tecnologias que serão prioritárias para os negócios da organização. Definidos a razão e o objetivo da pesquisa, surge a perspectiva sobre a construção do conhecimento, o que se válida por meio dos métodos científicos.

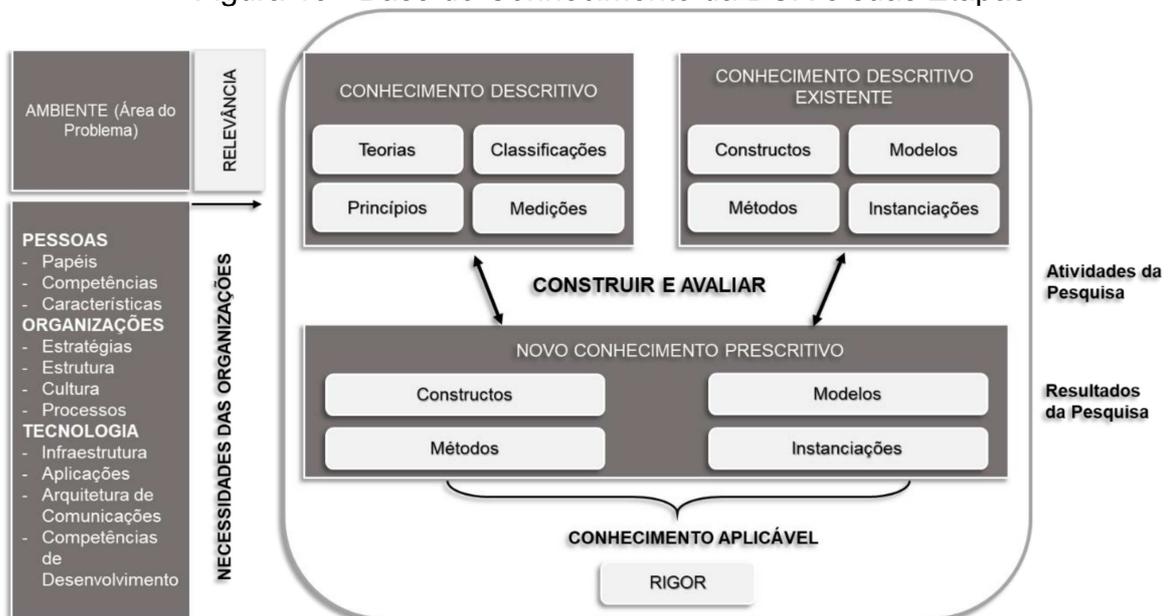
O método científico é uma diretriz sobre como o conhecimento é construído, e a sua escolha deve levar em consideração dois aspectos: o ponto de partida da pesquisa e o objetivo da pesquisa (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015). O **método científico** identificado para este trabalho é o abdução, que considera o que pode ser, utilizando-se de certos dados para chegar a uma conclusão mais ampla, propondo soluções nas inferências para melhoria da situação atual (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015). É considerado um processo criativo, por essa razão é mais indicado para entender um contexto ou problema, por isso é um método científico que possibilita que novas ideias sejam introduzidas (FISCHER; GREGOR, 2011).

Dresch, Lacerda e Antunes Jr. (2015) explicam que alguns autores complementam a abordagem abdução com as abordagens indutiva e dedutiva, sendo que a primeira é usada impreterivelmente a partir de observação de fenômenos, isto é, ter uma base empírica. Enquanto a segunda parte da busca da preposição das leis

e teorias existentes, de conhecimentos que possam ser utilizados no desenvolvimento da solução.

De acordo com Gregor e Hevner (2013), tanto o conhecimento descritivo quanto o prescritivo são aplicados na DSR. O primeiro é representado por teorias, princípios, classificações e medições, sendo a base para a construção do segundo, resultando em um artefato. Para March e Smith (1995), a estrutura proposta é instigada pela distinção entre resultados da pesquisa e atividades da pesquisa. A primeira dimensão é baseada em ciência do *Design* (saídas ou artefatos): constructos, modelos, métodos e instanciações. Sendo que os constructos se constituem de conceitos, da linguagem que define um determinado fenômeno, e os modelos são utilizados para descrever elementos e os relacionamentos em uma dada situação. Os métodos identificam-se como um passo-a-passo para a execução de determinada tarefa. Por fim, instanciações operacionalizam os constructos. Os autores expõem que há duas etapas centrais no desenvolvimento da ciência do *design*: construção e avaliação. A Figura 15, a seguir, apresenta a base do conhecimento da DSR e suas etapas:

Figura 15 - Base do Conhecimento da DSR e suas Etapas



Fonte: Adaptado pela autora a partir de Dresch, Lacerda e Antunes Jr. (2015), Gregor e Hevner (2013) e March e Smith (1995)

O ambiente refere-se ao “onde” o problema é observado, ou “onde” o fenômeno de interesse do pesquisador se encontra. Cabe reiterar ainda que são apresentados dois fatores fundamentais em relação à condução da DSR: relevância e rigor. Vale

explicar que a relevância das pesquisas se torna importante em nível organizacional, pois o resultado dessas investigações e do conhecimento gerado contribui para a solução de problemas práticos. O rigor é fundamental para a pesquisa ser considerada válida, verdadeira e colaborar para a base de conhecimento atual (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015). Desse modo, cabe dizer que o ambiente de aplicação do conhecimento desta pesquisa é uma firma do ramo plástico inserida em diferentes países.

A primeira etapa refere-se à criação do artefato, pois, após o pesquisador identificar as necessidades organizacionais e acadêmicas por meio da RSL e os problemas de interesse, se sustenta o desenvolvimento e a construção de artefatos, resultante da criatividade do pesquisador e que contribui para a base de conhecimento existente, e, normalmente, envolve a combinação do conhecimento descritivo existente (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015).

De acordo com Gregor e Havner (2013), o conhecimento prescritivo existente ou, em outras palavras, o novo artefato inventado se propõe a criar melhores soluções sob a forma mais eficiente e eficaz de produtos, processos, serviços, tecnologias e ideias, em um profundo entendimento do ambiente problemático para criar inovações nos artefatos como soluções para problemas importantes. A combinação desses conhecimentos deve resultar em um novo conhecimento prescritivo, cuja utilidade será medida na fase de avaliação. A partir do conhecimento descritivo e prescritivo existente, esta tese se propõe a gerar um novo conhecimento prescritivo e aplicável.

A segunda etapa, a avaliação, compreende a identificação de algum progresso em relação à lacuna identificada, sendo que o progresso é alcançado quando algo é substituído por outra mais eficaz. A avaliação necessita do desenvolvimento de técnicas para medir os artefatos de acordo com métricas. Essas métricas definem o que se objetiva realizar e são usados para avaliar o desempenho do artefato (MARCH; SMITH, 1995).

Tremblay, Hevner e Berndt (2010) corroboram que, embora tenha uma etapa específica de avaliação do artefato, isso não isenta que, em cada uma das etapas previstas para a condução da DSR, sejam feitas avaliações parciais dos resultados. Além disso, a avaliação tem a atribuição de retroalimentar a etapa de criação, apontando problemas nos procedimentos ou no objeto da pesquisa (HEVNER *et al.*, 2004). Hevner *et al.* (2004) propõem alguns métodos e técnicas que podem ser usados para avaliar a utilidade, qualidade e eficácia do artefato: avaliação

observacional, avaliação analítica, avaliação experimental, teste e avaliação descritiva. O Quadro 8 apresenta um resumo dos métodos.

Quadro 8 - Métodos e Técnicas para Avaliação dos Artefatos

Forma de Avaliação	Métodos e Técnicas Propostas
Observacional	Estudo de caso: estuda o artefato existente ou criado em profundidade no ambiente de negócios. Estudo de campo: monitora o uso do artefato em projetos múltiplos.
Analítica	Analítica estática: examina a estrutura do artefato para qualidades estáticas. Análise da arquitetura: estuda o encaixe do artefato na arquitetura técnica do sistema técnico geral. Otimização: demonstra as propriedades ótimas inerentes ao artefato ou demonstra os limites de otimização no comportamento do artefato. Análise dinâmica: estuda o artefato durante o uso para avaliar suas qualidades dinâmicas (por exemplo, desempenho).
Experimental	Experimento controlado: estuda o artefato em um ambiente controlado para verificar suas qualidades (por exemplo, usabilidade). Simulação: executar o artefato com dados artificiais.
Teste	Teste funcional ( <i>Black box</i> ): executa as interfaces do artefato para descobrir possíveis falhas e identificar defeitos. Teste estrutural ( <i>White box</i> ): realizar testes de cobertura de algumas métricas para implementação do artefato (por exemplo, caminhos para execução).
Descritiva	Argumento informado: utiliza a informação das bases de conhecimento (por exemplo, das pesquisas relevantes) para construir um argumento convincente a respeito da utilidade do artefato. Cenários: constrói cenários detalhados em torno do artefato para demonstrar sua utilidade.

Fonte: Hevner *et al.* (2004, p. 86)

O objetivo principal da análise observacional é verificar como se comporta o artefato em um ambiente real com profundidade, enquanto o da análise analítica é verificar o quanto o artefato consegue melhorar o desempenho com a sua utilidade. O objeto da avaliação experimental pode ser feito por meio de experimentos controlados, ou por simulação, visando representar um ambiente real. Os três métodos são embasados em ambientes reais (HEVNER *et al.*, 2004). Esta pesquisa utiliza o estudo de caso e a análise observacional para a avaliação do artefato.

Outra forma de avaliação é o teste, que pode ser funcional (*black box*) ou estrutural (*White box*). Ambos, geralmente são utilizados para o desenvolvimento de artefatos na área de sistema de informação, mas podem ser adaptados para outras áreas. O primeiro é um teste estrutural e baseia-se na análise interna dos sistemas, suas entradas e a geração das saídas, o segundo verifica se o sistema atende aos parâmetros desejados pelo usuário (utilidade) (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015).

Dresch, Lacerda e Antunes Jr. (2015), em acordo com Bruseberg e Mcdonagh-Philp (2002), expõem que é possível avaliar os artefatos de outras formas, por exemplo, por meio de grupo focal (*focus group*). Vale observar que esta técnica pode contribuir tanto no desenvolvimento quanto na avaliação dos artefatos, e que corroboram com discussões mais profundas e colaborativas em relação aos artefatos desenvolvidos. O estudo aplicou a técnica do grupo focal para validação prática do artefato.

Os grupos focais contribuem nas análises críticas dos resultados alcançados, uma vez que podem surgir novas oportunidades e sugestões de melhorias para a solução do problema em estudo. Tremblay, Havner e Berndt (2010) recomendam dois tipos de grupos focais que podem ser utilizados para avaliar artefatos no desenvolvimento da DSR. O Quadro 9 apresenta os dois tipos:

Quadro 9 - Tipos de Grupos Focais em DSR

Características		Objetivo	Papel do Grupo Focal
Grupo Exploratório	Focal	Alcançar melhorias incrementais rápidas na criação de artefatos.	Fornecer informações que possam ser utilizadas para eventuais mudanças tanto no artefato como no roteiro do grupo focal. Refinar o roteiro do grupo focal e identificação de constructos a serem utilizados em outros grupos.
Grupo Confirmatório	Focal	Demonstrar a utilidade dos artefatos desenvolvidos no campo da aplicação.	Definir o roteiro de entrevistas previamente para ser aplicado ao grupo de trabalho. O roteiro não deve ser modificado ao longo do tempo, a fim de garantir a possibilidade de se fazer comparativos entre cada grupo focal participante.

Fonte: Tremblay, Havner e Berndt (2010, p. 601)

Para Dresch, Lacerda e Antunes Jr. (2015), o grupo focal exploratório é o mais indicado para avaliação do artefato, não apenas para a sua avaliação final, mas também para as intermediárias, podendo, por meio dos resultados obtidos, causar melhorias incrementais no artefato. Enquanto o grupo focal confirmatório é mais adequado para ser testado em campo, dado o fato de ser necessário ou desejado e o mais indicado, pois poderá comprovar no campo de aplicação a utilidade do método. Tremblay, Havner e Berndt (2010) expõem quanto ao número de participantes de um grupo focal, e sugerem que pode variar de quatro a doze, e que deve ter homogeneidade para facilitar a discussão com profundidade sobre o tema. Ainda, sugerem a gravação em vídeo ou áudio, com autorização dos participantes. A análise deve ser feita com as técnicas de análise qualitativa. Neste estudo, participaram 4 (quatro) especialistas no grupo focal que validou o artefato na parte intermediária. E no final foram 5 (cinco) especialistas de inovação e gestão no grupo focal na parte do estudo de caso.

O **método de pesquisa** empregado para a realização deste estudo é a *Design Science Research*, que possibilita o desenvolvimento de artefatos que produzem soluções satisfatórias para determinado problema prático (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015). Assim sendo, centra-se na produção de sistemas que ainda não existem, quer por mudança de práticas, quer pela criação de novas práticas (PEFFERS *et al.*, 2007; TAKEDA *et al.*, 1990). Além disso, o envolvimento com o ambiente organizacional permite ao pesquisador assimilar o conhecimento disponível em tal ambiente, o que se materializa pelo contato com as pessoas e a partir da própria organização e da tecnologia (HEVNER *et al.*, 2004).

A DSR oportuniza a área de gestão a participar com estudos que sejam relevantes e de utilidade para a solução de problemas das organizações (KASANEN; LUKKA; SIITONEN, 1993). Dessa forma, esta pesquisa também se apoia no método de estudo de caso orientado pela DSR que oportuniza compreender o desenvolvimento do método em um ambiente real. O estudo de caso é definido como uma pesquisa empírica que busca o entendimento do fenômeno, que possibilita enfrentar uma situação tecnicamente única com mais variáveis de interesse, no qual se baseia em múltiplas fontes de evidências que auxiliam no decorrer da coleta e da análise dos dados (EISENHARDT, 1989; YIN, 2015).

O estudo de caso é incorporado pois faz parte da validação prática do artefato. Sendo assim, o método de pesquisa de estudo de caso mostra-se adequado ao

presente estudo, cujo foco se volta ao projeto de um novo artefato. Este se configura como um *framework* para a priorização de implantação das tecnologias da I4.0 a partir da estratégia de produção para geração de valor da firma com base em seus critérios competitivos, que contribuem com a geração de conhecimento à área de gestão de negócios e para o aumento da competitividade das organizações.

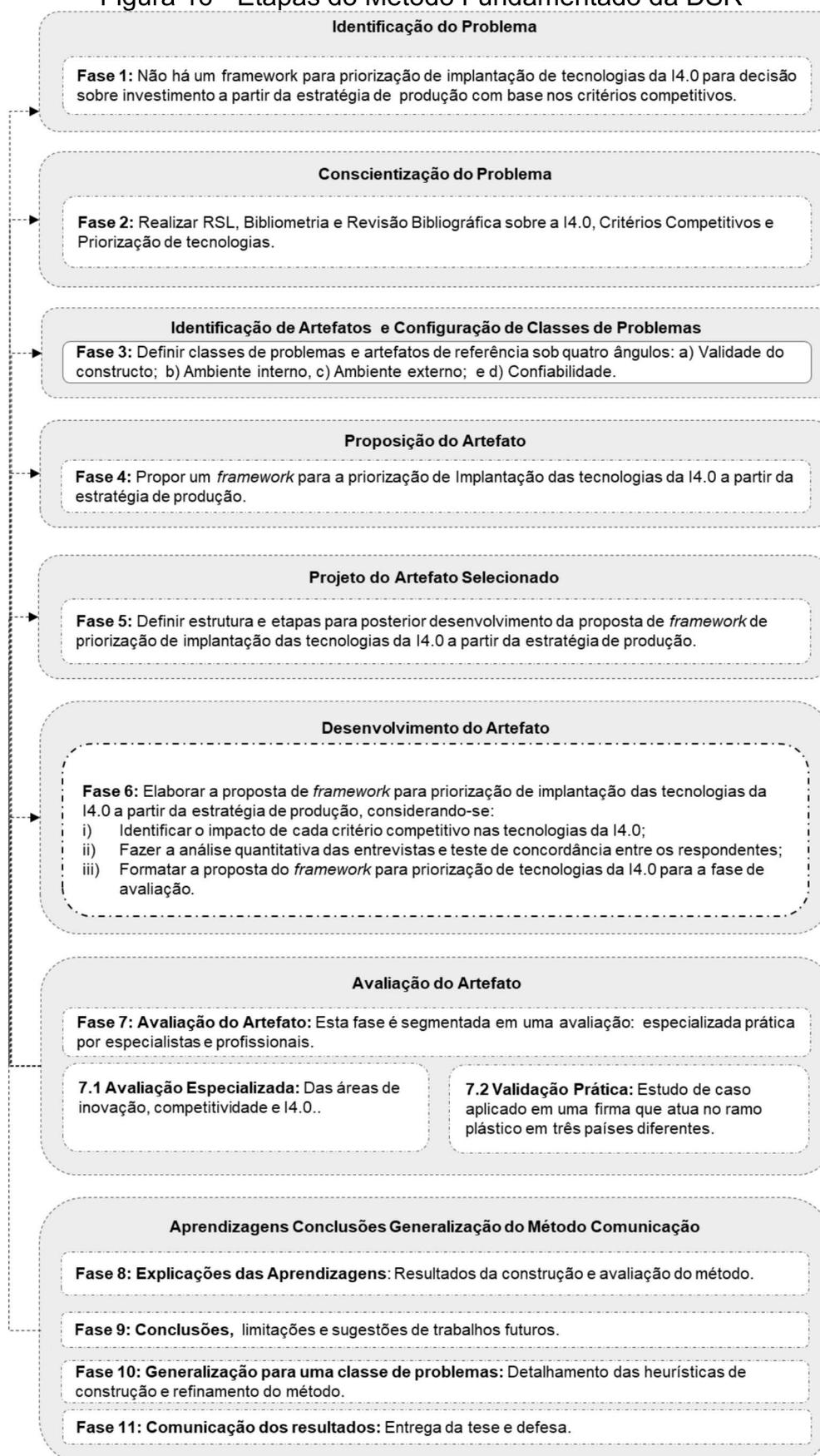
O estudo de caso é definido como uma pesquisa empírica que busca a compreensão do fenômeno, que permite enfrentar tecnicamente uma situação única com mais variáveis de interesse, que se baseia em múltiplas fontes de evidências e que, também, auxilia na condução da coleta e análise de dados (YIN, 2015). A próxima seção apresenta o método de trabalho para a condução desta pesquisa.

### 3.2 MÉTODO DE TRABALHO

O **método de trabalho** é definido como o encadeamento de passos lógicos que o pesquisador segue para atingir os objetivos da sua pesquisa (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015; MARCONI; LAKATOS, 2003). Conforme Dresch, Lacerda e Antunes Jr. (2015), um método de trabalho devidamente definido permite maior clareza e transparência na condução da pesquisa, possibilitando o reconhecimento do estudo por parte de outros pesquisadores.

A Figura 16 apresenta as etapas para a condução desta pesquisa. O método de trabalho se estrutura em concordância com as etapas do método proposto por Dresch, Lacerda e Antunes Jr. (2015).

Figura 16 - Etapas do Método Fundamentado da DSR



Fonte: Elaborado pela autora

O ponto de partida se localiza na definição do problema de pesquisa, a saber, a proposta de um framework de priorização de implantação das tecnologias da I4.0 (**fase 1**). Após a definição do problema, o direcionamento da pesquisa se encaminha para a **fase 2**, conscientização do problema. A etapa apresenta informações que garantam a compreensão ampla do problema de pesquisa, visto que entende o contexto em que ele se insere. Busca, ainda, compreender as causas e a funcionalidade do artefato, assim como a performance esperada para sua atuação e os seus requisitos de funcionamento (DRESCH, 2013).

Cabe sublinhar que esta pesquisa se fundamenta em propor um *framework* para a priorização de tecnologias da I4.0 a partir da estratégia de produção com base nos critérios competitivos, motivada por não existir na literatura nenhum estudo com o mesmo objetivo desta pesquisa conforme a RSL apresentada no subcapítulo 2.5 Priorização de Tecnologias.

No que tange à consulta às bases de dados, por meio do que é possível identificar acerca dos avanços e das lacunas teóricas do conhecimento gerados sobre o tema de pesquisa até o momento, são consultadas as seguintes bases de dados: EBSCO, Web of Science, Scopus, Scielo e Emerald. A RSL foi conduzida com o objetivo de suportar esta proposta de *framework*, conforme os procedimentos sugeridos por Morandi e Camargo (2015). O Apêndice A contém o protocolo de pesquisa utilizado para esta revisão, no qual constam detalhes sobre as decisões tomadas, critérios de busca e outras informações relevantes para a replicação da revisão. As palavras-chave e a busca pelo tema priorização de tecnologias e indústria 4.0 utilizadas foram, em português e inglês, conforme é revelado no Quadro 10.

Quadro 10 - Resultados das Buscas por Estudos Primários – Priorização de Tecnologias

Fonte	Termo de Busca	Rótulos de Campos	Resultados de Busca	Títulos Lidos	Abstract Analisados	Artigos Lidos
EbscoHost	"Prioritization of technologies" AND "industry 4.0"	Texto Completo	2	2	1	1
EbscoHost	"Prioritization of technologies"	Resumo	5	5	2	2
EbscoHost	"Priorização de tecnologias" AND "Indústria 4.0"	Resumo	0	0	0	0
EbscoHost	Priorização de tecnologias	Resumo	0	0	0	0
Web of Science	"Prioritization of technologies" AND "industry 4.0"	Resumo	0	0	0	0
Web of Science	"Prioritization of technologies"	Resumo	7	7	4	1
Web of Science	"Priorização de tecnologias" AND "Indústria 4.0"	Resumo	0	0	0	0
Web of Science	Priorização de tecnologias	Resumo	0	0	0	0
Scopus/Elsevier	"Prioritization of technologies" AND "industry 4.0"	Título-Abstract-Palavra-Chave	0	0	0	0
Scopus/Elsevier	"Prioritization of technologies"	Título-Abstract-Palavra-Chave	58	58	8	2
Scopus/Elsevier	"Priorização de tecnologias" AND "Indústria 4.0"	Título-Abstract-Palavra-Chave	0	0	0	0
Scopus/Elsevier	Priorização de tecnologias	Título-Abstract-Palavra-Chave	0	0	0	0
Scielo	"Prioritization of technologies" AND "industry 4.0"	Resumo	0	0	0	0
Scielo	"Prioritization of technologies"	Resumo	0	0	0	0
Scielo	"Priorização de tecnologias" AND "Indústria 4.0"	Resumo	2	2	2	1
Scielo	Priorização de tecnologias	Resumo	0	0	0	0
Emerald	"Prioritization of technologies" AND "industry 4.0"	Abstract	0	0	0	0
Emerald	"Prioritization of technologies"	Abstract	36	36	14	1
Emerald	"Priorização de tecnologias" AND "Indústria 4.0"	Abstract	0	0	0	0
Emerald	Priorização de tecnologias	Abstract	0	0	0	0
<b>Total</b>			<b>110</b>	<b>110</b>	<b>31</b>	<b>8</b>

Fonte: Elaborado pela autora

As palavras-chave empregadas para pesquisar nas bases de dados são identificadas a partir da questão de pesquisa e do **framework conceitual** sobre priorização de tecnologias e indústria 4.0. Estas estão evidenciadas, no Quadro 10, ao lado das associações de busca, dos critérios de identificação e dos resultados.

Após analisar os artigos relevantes, contatou-se que havia somente uma publicação abordando priorização de tecnologias e I4.0, que foi o estudo de Kang, Kim e Seol (2019), cujo objetivo do estudo foi revelar as semelhanças e diferenças entre indústrias de manufatura e serviços na priorização de tecnologias e pesquisa e desenvolvimento (P&D) pública, também não havia trabalhos que associam a priorização de tecnologias da I4.0 com os critérios competitivos. Além da RSL do tema priorização de tecnologias e I4.0, foi feito a RSL de outros temas conforme o Apêndice A que contém o protocolo, para que desse sustentação ao *framework* teórico e conceitual, assim como a bibliometria por cocitação sobre a indústria 4.0, que mapeia e analisa o desempenho acadêmico dos autores usados nas referências. São utilizadas, também, referências bibliográficas de outras fontes que não são da RSL.

A **fase 3** prevê a identificação das classes de problemas e de artefatos existentes. Esses dados passam por um processo de análise estruturada que possibilita a visualização dos critérios utilizados em cada classe de problemas e em cada artefato existente. Tal cuidado viabiliza analisar as contribuições e as limitações dos estudos dos artefatos existentes sob quatro critérios.

De acordo com Yin (2015), há quatro critérios para o julgamento da qualidade de um projeto de pesquisa, que são: validade do constructo, validade interna, validade externa e confiabilidade. No Quadro 11, apresentam-se os quatro critérios.

Quadro 11 - Critérios para Julgamento da Qualidade de um Projeto de Pesquisa

<b>Critérios</b>	<b>Tática do Estudo de Caso</b>	<b>Fase da pesquisa na qual a tática deve ser aplicada</b>
Validade do Constructo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utiliza fontes múltiplas de evidências.</li> <li>- Estabelece encadeamento de evidências.</li> <li>- O rascunho do relatório estudo de caso é revisado por informantes-chave.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coleta de dados.</li> <li>- Coleta de dados.</li> <li>- Composição.</li> </ul>
Validade Interna	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faz adequação ao padrão.</li> <li>- Faz construção da explanação.</li> <li>- Faz análise de séries temporais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análise de dados.</li> <li>- Análise de dados.</li> <li>- Análise de dados.</li> </ul>

continua

<b>Crítérios</b>	<b>Tática do Estudo de Caso</b>	<b>Fase da pesquisa na qual a tática deve ser aplicada</b>
Validade Externa	- Utiliza lógica de replicação em estudos de casos múltiplos.	- Projeto de pesquisa.
Confiabilidade	- Utiliza protocolo de estudo de caso. - Desenvolve banco de dados para estudo de caso.	- Coleta de dados. - Coleta de dados.

Fonte: Yin (2015, p. 48)

A **validade de constructo** objetiva garantir que as dimensões e as relações estabelecidas ou identificadas pelo pesquisador de fato retratem o fenômeno estudado. O autor complementa expondo que a utilização de várias fontes de evidências como: triangulação de dados (de pesquisadores, da teoria e metodológica), criação de banco de dados para o estudo e encadeamento de evidências são elementos de uma boa coleta de dados e aumentam a validade do constructo (YIN, 2015).

A **validade interna** é importante nos estudos cujo objetivo é estabelecer relações de causa-e-efeito. Esta fase visa estabelecer uma relação causal, por meio da qual são mostradas certas condições que levem a outras condições, como diferenciada de relações espúrias. Os instrumentos para assegurar a validade interna são modelos lógicos e tratamento de explanações concorrentes, entre outros (YIN, 2015).

A **validade externa** estabelece a possibilidade de as descobertas de um estudo serem generalizadas. Na DSR, o que se mede é se é possível a generalização do artefato para uma classe de problemas. (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015).

A pesquisa (estudo de caso) foi desenvolvida em uma corporação da indústria plástica em três países (Brasil, Estados Unidos e Alemanha). A seleção de casos múltiplos reduz a necessidade de aprofundamento comparado com caso único. Ainda em estudos de caso múltiplos a validade externa é maior que em casos únicos. (YIN, 2015).

A **confiabilidade** serve para minimizar os erros e as visões tendenciosas de um estudo e está relacionada aos procedimentos metodológicos utilizados pelo pesquisador, de maneira que se possa compreender como o pesquisador chegou às conclusões e garantir que a pesquisa seja replicada. Os instrumentos indicados são o

protocolo do estudo de caso com todas as explicações detalhadas das etapas e um banco de dados com as informações (YIN, 2015).

Resta esclarecer que as entrevistas foram feitas com especialistas de empresas de consultoria, grupos de pesquisa e com pesquisadores do tema abordado. Após a conscientização dos ambientes externo e interno, buscam-se soluções satisfatórias (confiabilidade), mediante a análise das contribuições dos estudos e das suas limitações. A Figura 17 apresenta estes passos:

Figura 17 - Identificação das Classes de Problemas e Artefatos de Trabalho – Fase 3 do Método de Trabalho

<p><b>Validade do Constructo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Identificaram-se as medidas operacionais que combinam com conceitos (buscou-se na literatura, por meio de RSL, a evidência de que não havia estudos com o mesmo objetivo da presente tese).</li> <li>b) Buscou-se a identificação das medidas operacionais corretas para os conceitos estudados.</li> </ul>
<p><b>Validade Interna</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>c) Levantamento dos estudos de priorização de tecnologias da I4.0.</li> <li>d) Levantamento dos estudos de critérios competitivos.</li> <li>e) Análise e crítica dos itens “c” e “d”.</li> <li>f) Identificação/Seleção dos critérios competitivos por meio da RSL.</li> <li>g) Seleção e estratificação de tecnologias da I4.0 e características do referencial teórico para construção do instrumento de coleta de dados.</li> <li>h) Métodos-base para a proposição do artefato.</li> </ul>
<p><b>Validade Externa</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>i) Mecanismos para identificar o impacto do critério competitivo na tecnologia da I4.0.</li> <li>j) Mecanismos para valoração do item “i”.</li> <li>k) Mecanismos para verificar a análise de variância de “j”.</li> <li>l) Análise e compilação dos dados do item “i”, “j” e “k”.</li> <li>m) Validação por grupo focal (estudo de caso) da versão final.</li> </ul>
<p><b>Confiabilidade</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>n) Descrição de todos os passos da pesquisa e documentos comprobatórios.</li> <li>o) Análise das contribuições dos estudos.</li> <li>p) Análise das limitações.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pela autora

A etapa seguinte do método de trabalho envolve a proposição do artefato (**fase 4**), que abrange artefatos e classes de problemas localizados na fase anterior. Nesta etapa, também são contemplados elementos funcionais para a proposição do *framework*, identificados por meio de entrevistas com grupos de pesquisa e empresas

de consultoria na área de produção, inovação e I4.0, ora chamados de especialistas nesta pesquisa. A partir dos dados coletados nas entrevistas, os dados foram compilados em uma planilha para posterior análise. Nesta entrevista, o respondente fez a relação de quanto cada critério competitivo impactava na tecnologia da indústria 4.0 (característica), conforme escala Likert, para posterior priorização das tecnologias da I4.0. A escala de Likert solicita que o respondente concorde ou discorde de declarações que expressam atitudes favoráveis ou desfavoráveis em relação ao objeto. A força da atitude é refletida na nota atribuída, e as notas individuais podem ser totalizadas por uma mensuração total de atitude, o que também ajuda a comparar o escore de uma pessoa com distribuição de pontuações de um grupo de amostragem bem definido (COOPER; SCHINDLER, 2016).

Na **fase 4**, foi apresentado um protótipo da **versão zero (V0)** da proposta de *framework* para priorização de tecnologias, com base na RSL e referencial teórico apresentado na tese.

Para a proposição do método, são formalizadas soluções satisfatórias para um artefato genérico, com a intenção de resolver um problema genérico. Portanto, o projeto do artefato selecionado na **fase 5** foi definir as etapas para posterior desenvolvimento do *framework* para priorização de implantação das tecnologias da I4.0 por meio da estratégia de produção. Nesta fase, foi definido como os dados seriam analisados estatisticamente.

A **fase 6** de desenvolvimento do artefato envolve a confecção de um protótipo da proposta de *framework* para priorização de implantação das tecnologias da I4.0 a partir da estratégia de produção levando em consideração os critérios competitivos. Esta fase refere-se à parte quantitativa. As variáveis foram descritas por média, desvio padrão e coeficiente de variação **versão um (V1)**. Após, elas foram submetidas à análise de variância (ANOVA) para medidas repetidas com ajuste das diferenças pelo teste de Bonferroni. O nível de significância adotado foi de 5% ( $p < 0,05$ ), e as análises foram realizadas no programa SPSS versão 21.0 (IBM SPSS, 2020).

As comparações geradas no teste foram realizadas intra e inter variáveis de tecnologias da I4.0 e critérios competitivos, o que resultou na **versão dois (V2)** do artefato e, após, a **versão três (V3)** do artefato. O passo seguinte elenca as tecnologias já priorizadas levando em consideração os critérios competitivos. Por fim, foi estruturado o formato da proposta do *framework* de priorização de tecnologias da I4.0 que levou em consideração as tecnologias habilitadoras, integradoras e

aplicadoras de acordo com a OECD (2017) e os critérios competitivos conforme a RSL apresentada no capítulo 2.4.

Concluída a fase de desenvolvimento, o artefato segue para a **fase 7**, de avaliação do artefato. Esta se desdobra em dois níveis. O primeiro diz respeito à avaliação de especialistas, que foi feita por meio de um grupo focal e, em seguida, a avaliação e o ajuste do método, que resultou na **versão quatro (V3)**. Os testes de avaliação prática foram feitos por meio da técnica de estudo de caso, segundo a qual foram encaminhados ao gestor de negócio o *framework* e uma entrevista semiestruturada. A utilização de diferentes fontes de evidências sobre os fenômenos estudados é um requisito do estudo de caso. As fontes podem ser documentação, registros em arquivo, entrevistas, observação direta, observação participante e artefatos físicos. (YIN, 2015). Para este estudo de caso foram utilizadas entrevistas semiestruturadas com questões fechadas e abertas, registros em arquivos/documento. O *framework* foi apresentado a uma firma que atua no ramo de plásticos técnicos no Brasil, Estados Unidos e Alemanha. O segundo nível trata da avaliação prática.

Nesta pesquisa, a fase de avaliação é cíclica, visto que essa etapa objetiva identificar as melhorias e o aprendizado gerados na condução do processo de avaliação. Outrossim, o retorno às etapas anteriores se efetiva sempre que necessário, a fim de que o método seja validado como robusto.

Depois da fase de avaliação, e tendo o artefato atingido os resultados esperados, a próxima etapa abrange as explicações das aprendizagens. A **fase 8** se refere à discussão dos resultados da pesquisa, onde se apresentou às contribuições dos especialistas e às contribuições do estudo de caso da aplicação do método em um ambiente real. A conclusão, na **fase 9**, apresenta os resultados da pesquisa, as contribuições, os aspectos de melhoria do método, as limitações e as sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, a última etapa prevista pelo método de trabalho contempla a comunicação dos resultados. A **fase 10**, que ocorre por meio da divulgação desta pesquisa, que poderá ser acessada tanto pela comunidade acadêmica quanto pelos profissionais das organizações, através da entrega e defesa da tese, de publicações, de seminários e de congressos, ou seja, por meio dos conhecimentos gerados pela presente pesquisa. A generalização do artefato para determinada classe de problemas, na **fase 11**, contempla a generalização das heurísticas de construção e

de contingências, o que possibilitará a resolução de problemas similares e o avanço do conhecimento em *design science*.

Para alcançar o rigor da pesquisa fundamentada na DSR, todos os procedimentos para proposição, construção e avaliação do método precisam ser passíveis de rastreabilidade. Sendo assim, são apresentadas as etapas de coleta e análise de dados na próxima seção.

### 3.3 COLETA DE DADOS

Esta seção tem o objetivo de apresentar as fontes de dados deste estudo e as técnicas utilizadas para a coleta. Uma série de técnicas de coleta de dados são conhecidas e devem ser escolhidas de acordo com o objetivo e o método de pesquisa. (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015).

Uma vez selecionado o método de pesquisa e o método de trabalho, a etapa seguinte envolve a coleta de dados para atender à pesquisa. A **primeira coleta de dados** apoia a conscientização do problema por meio da RSL, revisão bibliométrica e bibliográfica. A operacionalização da RSL está exposta no protocolo da RSL – Apêndice A. Em relação aos termos e base dados, selecionou-se os que possuem relevância e abrangência internacional. No contexto das palavras-chave, foram usados como critérios: a) idioma em inglês e português, conforme a exigência da base de dados; e b) combinação de palavras para identificar estudos existentes. Os operadores booleanos empregados para as palavras foram “AND”, e na extensão da busca não foi delimitado tempo (MORANDI; CAMARGO, 2015).

A RSL neste estudo se classifica como uma revisão configurativa, pois as questões tendem a ser atendidas com “[...] dados qualitativos, extraídos de estudos primários mais heterogêneos, que são explorados e interpretados ao longo do estudo a fim de gerar e explorar a teoria (método indutivo)” (MORANDI; CAMARGO, 2015 p.147). A **segunda etapa da coleta de dados** se refere à avaliação de artefatos criados na parte de criação. Os procedimentos que serão realizados em cada etapa do processo de pesquisa DSR – criação desenvolvimento e avaliação – e estão ilustrados no Quadro 12.

Quadro 12 - Etapas da Pesquisa

Etapa	Procedimentos	Objetivo
Criação	Bibliometria	a) Validar principais autores da I4.0.
	Revisão Bibliográfica	b) Buscar os principais autores, conceitos e tecnologias da I4.0.
Desenvolvimento	Revisão Sistemática da Literatura	c) Compreender a relação da I4.0 e a cadeia de valor.
	<b>Fase 2 e Fase 3 de trabalho</b>	d) Identificar e selecionar os principais critérios competitivos na literatura.
Desenvolvimento	<b>Fase 4 do Método de Trabalho</b>	e) Verificar contribuições de estudos de critérios competitivos e I4.0.
	<b>Fase 5 do Método de trabalho</b>	f) Identificar estudos sobre priorização de tecnologias na I4.0 e métodos utilizados.
	<b>Fase 6 do Método de trabalho</b>	g) Selecionar na literatura estudada as principais tecnologias habilitadoras, integradoras e aplicadoras.
		h) Levantar as principais características das tecnologias selecionadas em “g” e montar o primeiro instrumento de coleta de dados.
Desenvolvimento	<b>Fase 4 do Método de Trabalho</b>	i) apresentar um protótipo da versão zero (V0) do <i>Framework</i> para priorização de tecnologias da I4.0
	<b>Fase 5 do Método de trabalho</b>	j) Descrever e definir as etapas posteriores ao desenvolvimento do método.
	<b>Fase 6 do Método de trabalho</b>	k) Apresentar um protótipo da versão um (V1) onde os dados foram tratados a partir de uma análise quantitativa (média, desvio padrão e coeficiente de variação).
		l) Preparar a base de dados para análise de variância ANOVA no software SPSS.
Desenvolvimento		m) Apresentar primeiro artefato genérico versão dois (V2).
		n) Processar e analisar a versão três (V3) do artefato.

continua

Etapa	Procedimentos	Objetivo
Avaliação	<p data-bbox="469 304 810 333"><b>Fase 7: Avaliação do Artefato</b></p> <p data-bbox="469 367 842 450"><b>7.1 Avaliação especializada:</b> Avaliação Versão 3: V(3) do artefato</p> <p data-bbox="469 551 842 633"><b>Fase 7.2 Avaliação Prática:</b> Avaliação da Versão 3 V (3) do framework</p>	<p data-bbox="916 304 1362 333">a) Avaliar artefato junto a especialistas.</p> <p data-bbox="916 360 1433 443">b) Preparar nova versão após avaliação dos especialistas com suas contribuições. (análise de conteúdo).</p> <p data-bbox="916 510 1433 562">c) Avaliar a proposta de framework junto à firma em estudo.</p> <p data-bbox="916 595 1433 730">d) Avaliar a adequação do <i>framework</i> para a priorização de tecnologias da I4.0 a partir da estratégia de produção com base em critérios competitivos, aplicando-o em uma firma de plásticos em três países.</p>

Fonte: Elaborado pela autora

Com o objetivo de avaliar a adequabilidade do método desenvolvido, sua aplicação em uma firma fabricante de plásticos foi apropriada. Dessa forma, foram utilizados elementos do estudo de caso para avaliação do artefato (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015). O estudo de caso foi utilizado para análise e validação na construção do *framework* e nas validações da priorização das tecnologias da I4.0 a partir da estratégia de produção com base nos critérios competitivos. O estudo de caso colaborou com *insights* para a conclusão final do *framework* para a priorização de tecnologias. A seguir, os procedimentos de coleta de dados são detalhados e divididos em dimensões para facilitar a organização da pesquisa e análise dos resultados.

Quanto à viabilidade de se estudar o caso, quatro elementos foram analisados: (i) a falta de um modelo e *framework* para priorização para investimentos na I4.0 conforme a revisão da literatura; (ii) aplicar o caso no Grupo Ensinger que está no ranking dos três primeiros transformadores plásticos globais no que diz respeito ao mix de produtos e processos de transformação na cadeia plástica, que combina desde a extrusão de termoplásticos *standard* como as poliolefinas até a sinterização de poliaimidas (família TECASINT) em equipamentos com tecnologia desenvolvida para tal; e (iii) aplicar o caso em contextos diferentes (Brasil, Estados Unidos e Alemanha).

Optou-se por aplicar na referida corporação pelo fato de a firma estar com fábricas em implantação e com projetos em outras unidades para a implementação de tecnologias da I4.0. Cabe acrescentar, ainda, a aplicação do estudo em diferentes contextos nacionais (países) trouxe maior robustez às conclusões desta pesquisa.

### 3.3.1 Consulta a Especialistas

No âmbito desta pesquisa, foram realizadas entrevistas com especialistas através de sistemas de comunicação (e-mail ou *teams*): no caso dos e-mails, arquivando os registros e, no caso das reuniões via *teams*, utilizando-se do recurso de gravação. O nome dos entrevistados e das instituições não é revelado em consonância com o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). O TCLE é o documento formal que garante o sigilo e a preservação da identidade do entrevistado (Apêndice F). Há que se mencionar, também, que foi utilizado nas entrevistas do estudo de caso e na validação prática (Apêndice E).

A primeira consulta a especialistas foi feita na **Fase 6**, na qual se desenvolveu um protótipo e a **Versão um (V1)**. A busca pelo grupo de pesquisa foi feita na base de dados do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), onde se buscou por grupos de pesquisa de inovação e Indústria 4.0. Somente grupos de pesquisas com selos atualizados foram selecionados, os que constavam como desatualizados foram excluídos da seleção. A segunda pesquisa foi feita no google, momento em que se buscou empresas de consultoria em Indústria 4.0 e inovação. A pesquisa foi feita a partir das expressões de busca “consultoria em Indústria 4.0” e “consultoria em inovação”. Após a seleção dos grupos de pesquisa e empresas de consultoria, foi elaborado um banco de dados conforme os Quadros 13 e 14.

Quadro 13 - Lista de Especialistas (grupos de pesquisas)

Nome do grupo de pesquisa	Universidade	Linha de pesquisa	Cidade/Estado	Telefone	E-mail	Pesquisador

\*não será informada a lista do nome dos especialistas por não ter o consentimento deles.

Fonte: Elaborado pela autora

Quadro 14 - Lista de Especialistas (empresas de consultoria)

Empresa	Cidade/Estado	Telefone	E-mail	Contato

\*não será informada a lista do nome dos especialistas por não ter o consentimento deles.

Fonte: Elaborado pela autora

Foram selecionados 53 grupos de pesquisas válidos e 40 empresas de consultoria, sendo que somente 63 responderam a entrevista enviada por e-mail. O

objetivo da entrevista era que os entrevistados relacionassem os impactos de cada critério competitivo na tecnologia da I4.0 (característica), conforme a escala likert (1 a 5). A frequência foi de 1 (um) quando o impacto do critério foi menor e 5 (cinco) quando o impacto do critério foi maior na tecnologia.

Havia espaços em branco verticalmente, disponibilizados para que os respondentes inserissem critérios competitivos pertinentes que a pesquisa não abordou. Da mesma forma, com os espaços disponibilizados na horizontal para inserir tecnologias da I4.0, se necessário (Apêndice C).

A validação do instrumento de coleta de dados da entrevista conforme APENDICE C foi realizada por um pesquisador qualificado (Quadro 15).

Quadro 15 - Relação de Pesquisador/especialista

Pesquisador/ Especialista	Formação	Instituição/Formação	Instituição vinculado
Especialista 1	Doutor em Engenharia de Produção	UNISINOS – SÃO LEOPOLDO	UNISINOS – SÃO LEOPOLDO

Fonte: Elaborado pela autora

Após análise das propostas de alterações e concordância do pesquisador/especialista sobre pontos a alterar, o documento de entrevista foi modificado para posterior envio aos respondentes. Tendo realizado a validação da entrevista pelo pesquisador/especialista, o documento foi considerado aprovado.

A primeira consulta com os especialistas teve como objetivo pontuar por meio da escala likert o impacto de cada critério nas tecnologias da I4.0. Com os resultados, foi possível formatar os dados e calcular a média, desvio e coeficiente de variação de todos os respondentes e propor o protótipo da V1.

Na **fase 7** da pesquisa, foi feita a avaliação do artefato, o qual trata de validar a V1, V2 e V3 pelo **grupo focal** exploratório. Conforme Dresch, Lacerda e Antunes Jr. (2015), o grupo focal tem como objetivo buscar o entendimento a partir da experiência, ideia ou evento. É uma entrevista com profundidade, realizada em grupos com as sessões estruturadas, contemplando uma proposta, tamanho, os participantes e o procedimento para a condução do grupo.

No Quadro 16, os entrevistados são identificados através de uma letra, artifício utilizado para preservar seus nomes. Contudo, são apresentadas informações acadêmicas e profissionais destes. Os especialistas são das áreas de inovação, I4.0 e competitividade.

Quadro 16 - Informações Acadêmicas e Profissionais dos Entrevistados – para a Validação da V3

Entrevistado	Perfil
Entrevistado A	Doutor em Administração na área de Competitividade Inter organizacional. Mestrado em Engenharia de Produção. Pós-Graduado em Marketing. Graduado em Engenharia Mecânica e em Direito Diplomado pela ESG - Escola Superior de Guerra no ciclo de estudos de Estratégias e Geopolítica. Professor de Análise Organizacional, Estratégica Organizacional, Inteligência Competitiva e Business <i>Analytics</i> . Atua como assessor e consultor para empresários com desenvolvimento de executivos e como mentor em projetos como: modelagem estratégica de negócios, estudos de viabilidade, <i>analytics</i> , planejamento comercial e desenvolvimento de equipes de vendas e de redes de distribuidores. Diretor do IBCA - Instituto Brasileiro de Competição Analítica. CEO da INTELLECTUM - Inteligência Estratégica.
Entrevistado B	Doutor em Administração pela UNISINOS. Mestre em Administração pela UNISINOS. Graduado em Administração pela ULBRA e pela ESAP. Atuou como Administrador na Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos – ECT, Consultor empresarial, professor e pesquisador universitário e funcionário público (estado do RS, Prefeitura de Porto Alegre e DMAE -Departamento Municipal de Águas e Esgotos de Porto Alegre) desde 2012. Atualmente, é Professor na Unisinos. Tem experiência na área de Administração, com ênfase em Administração da Produção e Estratégia. Atua principalmente nos seguintes temas: Planejamento Estratégico, Resiliência Urbana, Sustentabilidade, Logística, ERP, Engenharia de Processos de Negócios, Produção Enxuta, Qualidade, Inovação.
Entrevistado C	Doutor em Administração pela Unisinos. Mestre em Administração pela PUCRS. Bacharel em Ciência da Computação pela UFRGS. É escritor, ensaísta e pesquisador acadêmico nas áreas de Economia, Administração e Tecnologia da Informação, integra o time de docentes da Unisinos. Atualmente, ele é Coordenador dos MBAs em Business Process Management, Business <i>Analytics</i> e Gestão e Negócios de Tecnologia da Informação. Em sua trajetória profissional, trilhou carreira corporativa na área de Tecnologia da Informação, tendo atuado de estagiário a gerente de projetos na Procergs e como CIO na Embraco S/A. Desde 1991, atua como conselheiro, consultor, instrutor e palestrante em empresas de classe mundial. Além disso, é presidente da Associação Brasileira de Consultores (ABCO), Diretor do Instituto Brasileiro de Competição Analítica (IBCA) e CEO da Método–Reflexão Estratégica.
Entrevistado D	Doutor em Administração pela UFRGS, Mestre em Engenharia da Produção pela UFSC, Especialista em Engenharia Térmica pela UFSC, Graduação em Engenharia Mecânica pela UFRGS. Professor titular da Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Diretor da Prodttare Consultores Associados, sócio-diretor - eFact Software. Tem experiência na área de Administração e Engenharia de Produção, com ênfase em Administração da Produção, atuando principalmente nos seguintes temas: Custos, JIT., TOC, Modularização, Indústria 4.0, Estratégia de produção, Desenvolvimento regional e STP.

Fonte: Elaborado pela autora

As entrevistas foram realizadas virtualmente via *teams* e pessoalmente, guiadas pelo roteiro elaborado anteriormente. Todas as entrevistas foram gravadas com consentimento dos entrevistados. Na sequência, as entrevistas foram analisadas (Análise de Conteúdo) com auxílio do *Software Atlas.ti* (ATLAS.TI SCIENTIFIC

SOFTWARE DEVELOPMENT GMBH, 2020). Após analisados, os resultados das entrevistas foram comparados entre os grupos de entrevistados e com a análise de conteúdo da literatura, realizada na primeira macro etapa do método de trabalho, com o objetivo de identificar aspectos convergentes, complementares e divergentes entre os entrevistados e entre a prática e a teoria. As observações realizadas nos estudos de campo e de caso foram consolidadas e analisadas nesta etapa.

A análise de conteúdo pode ser definida como o exame, categorização, tabulação, teste ou evidências recombinaadas de outra forma, para que se possa tirar conclusões baseadas empiricamente (YIN, 2015). Para Bardin (2016), análise de conteúdo é um conjunto de técnicas de análise das comunicações com o objetivo de obter, por meio de procedimentos sistemáticos e objetivos, a descrição das mensagens qualitativas ou quantitativas, que permitam a interferência de conhecimentos relativos às condições de recepção destas mensagens.

Na **Fase 7** desta pesquisa, foi validado o *framework* para priorização das tecnologias da I4.0 a partir da estratégia de produção (estudo de caso), pela firma estudada levando em consideração os seus critérios competitivos. A entrevista foi submetida a cinco profissionais das áreas de gestão e inovação, e desenvolvida pelo protocolo de entrevista para os seguintes entrevistados: grupos de entrevistados profissionais conforme o Quadro 17.

Quadro 17 - Informações Profissionais dos Entrevistados – para a Validação da V3

Entrevistado	Perfil
Entrevistado E	Diretor de Inovação – Ensinger Inc
Entrevistado F	Diretor de Inovação – Ensinger GMBH
Entrevistado G	Grupo Gestor Brasil – Entrevista respondida por 3 dos 4 diretores da Unidade.

Fonte: Elaborado pela autora

As entrevistas foram realizadas virtualmente via (teams/E-mail), guiadas pelo roteiro elaborado anteriormente. Todas as entrevistas foram gravadas com consentimento dos entrevistados. Foram realizadas as análises da priorização de tecnologias da I4.0 para cada país. Esta análise teve como objetivo entender, do ponto de vista dos entrevistados, os diferentes impactos e contextos das empresas (dimensões de contexto, tecnologia e de competitividade). As observações realizadas no estudo de caso foram consolidadas e analisadas nesta etapa.

Na próxima seção, apresenta-se a seção análise de dados.

### 3.4 ANÁLISE DOS DADOS

A coleta de dados foi feita em dois momentos para a criação da proposta de *framework* para priorização de tecnologias da I4.0. Pela literatura conforme apresentado na seção 3.3 e pelas entrevistas com especialistas, conforme apresentado na seção 3.3.1 (grupo de pesquisas e empresas de consultoria), em que foi apresentado a versão um (V1), versão dois (V2) e versão três (V3). Cabe mencionar que a validação prática, o estudo de caso nas unidades (Quadro 18), ocorreu na UEN – Shapes Brasil, UEN- Shapes Estados Unidos e UEN – Shapes Alemanha da mesma corporação fabricante de plástico de alta performance. Complementarmente, vale dizer que foram realizadas entrevistas a especialistas das áreas de gestão e inovação conforme apresentados na seção 3.3.1.

No Quadro 18, apresenta a caracterização das empresas envolvidas no estudo de caso. As Unidades Estratégicas de negócios (UENs) trabalham com mais de um ramo de negócios, porém neste estudo será delimitado a UEN-SHAPES, devido as três unidades de negócios atenderem a esse segmento e por haver comparabilidade.

Quadro 18 - Empresas Participantes do Estudo de Caso

<b>Empresa – País</b>	<b>Caracterização</b>
Ensinger Brasil - Brasil	São Leopoldo – Rio Grande do Sul
Ensinger GMBH - Alemanha	Nufringen – Baden-Württemberg
Ensinger Inc – Estados Unidos	Washington – Pennsylvania

Fonte: Elaborado pela autora

A análise de dados foi feita a partir da interpretação das informações coletadas durante a entrevista e da comprovação de documentos. De posse das entrevistas respondidas foi possível fazer a análise e apresentar os resultados e comparações dos resultados, neste caso pode se considerar estudo de caso múltiplos.

De acordo com Yin (2015) , os estudos de casos múltiplos podem ser analisados de três formas. Na primeira o relatório completo de casos múltiplos será composto de capítulos ou seções dos casos únicos, além de um capítulo ou uma seção adicional abrangendo as análises entre os casos e os resultados. A segunda forma, o relatório é composto por seções com perguntas e respostas por casos. A

terceira pode não haver capítulo ou seção para os casos individuais, todo o relatório será uma análise entre os casos, podendo ser puramente descrita ou ter tópicos explicativos.

### 3.5 ESTUDO DE CASO – AVALIAÇÃO PRÁTICA DO *FRAMEWORK*

Para garantir a validade do artefato, este é avaliado em uma firma de plásticos técnicos, ou seja, num caso real, a saber, em uma indústria multinacional de plásticos de alta performance que está situada em mais de 32 países. Devido à necessidade de as empresas tomarem decisões diferentes de investimentos, levando em consideração o contexto nacional em que estão inseridas, é preciso compreender que um investimento bem planejado tem um maior aproveitamento e por consequência aumenta a competitividade da firma.

Outro ponto relevante, conforme a Abiplast (2018), é que a cadeia de transformadores de plásticos no Brasil foi responsável por 78,5 bilhões de reais de faturamento, sendo que 5,6% foi exportação e com expectativa de crescimento para os próximos anos. Em 2020, o faturamento estava em 90,8 bilhões de reais e a indústria plástica foi o 4º maior empregador dentre os setores da indústria de transformação e o 2º que paga melhores salários, dentre os cinco maiores (ABIPLAST, 2020).

A pandemia trouxe oportunidades de rever diferentes conceitos em relação a diversos materiais e usos. Surgiu, então, algumas tendências globais sobre plásticos, retirando o plástico da lista de vilão ambiental e colocando-o de forma a otimizar a reciclagem. Desse modo, surgem algumas tendências globais como: embalagens estão ganhando matérias-primas como plástico verde de mandioca e cana-de-açúcar, tampas fixadas a embalagens plásticas, embalagens flexíveis para alimentação devido ao aumento do *delivery* (busca-se o aumento do plástico verde), economia circular e reciclagem (PLÁSTICO, 2021).

Nesse contexto, a relevância dos negócios relacionados à indústria plástica é importante para a economia do país, tanto em nível nacional quanto global, em busca das melhores decisões de investimentos para seu crescimento sustentável. O próximo capítulo se dedica à apresentação dos artefatos identificados por meio da coleta de dados. Após a análise dos artefatos, redigem-se considerações concebidas como propulsoras no que tange à construção do artefato, objeto deste trabalho.

## 4 PROPOSIÇÃO, DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DO ARTEFATO

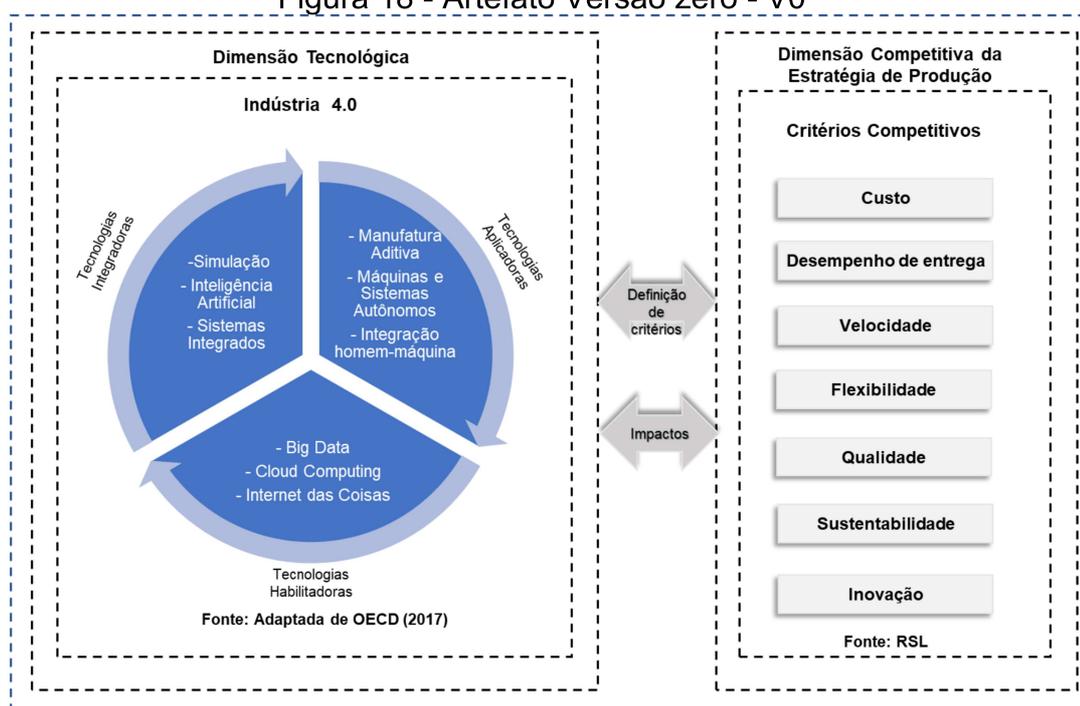
Este capítulo apresenta e discute os resultados de cada estágio da DSR conduzida. A primeira parte trata da proposição inicial do artefato a partir da revisão da literatura, que gerou a versão zero (V0). A segunda parte foi realizada através das interações com os especialistas, e o *framework* foi desenvolvido com base em testes estatísticos, resultando na versão um (V1), versão dois (V2) e versão (V3). Por fim, foi apresentado e discutido o resultado da avaliação feita pelos especialistas do grupo focal e pela empresa objeto do estudo de caso, que culminou na validação da última versão, a versão (V3).

### 4.1 PROPOSIÇÃO DO ARTEFATO

Esta seção apresenta o artefato desenvolvido como proposta de solução ao problema identificado. A proposição classifica-se como um modelo, no sentido dado por March e Smith (1995), sendo uma representação de como as coisas são. Em razão do formalismo e da conotação quantitativa muitas vezes dadas ao conceito de modelo (MARCH; SMITH, 1995), optou-se nesta pesquisa pelo termo *framework*.

A revisão da literatura evidenciou a existência de um vasto conhecimento descritivo sobre critérios competitivos e priorização de tecnologias. De acordo com Gregor *et al.* (2013), o conhecimento prescritivo existente ou, em outras palavras, o novo artefato inventado, propõe-se a criar melhores soluções sob a forma mais eficiente e eficaz de produtos, processos, serviços, tecnologias e ideias, em um profundo entendimento do ambiente problemático para criar inovações nos artefatos como soluções para problemas importantes. A combinação desses conhecimentos deve resultar em um novo conhecimento prescritivo, cuja utilidade será medida na fase de avaliação. A partir do conhecimento descritivo e prescritivo existente, esta tese se propõe a gerar um novo conhecimento prescritivo e aplicável como pode ser observado na primeira versão do artefato V0 na Figura 18.

Figura 18 - Artefato Versão zero - V0



Fonte: Elaborado pela autora

A tecnologia, sendo o principal impulsionador da quarta revolução industrial e tendo grande quantidade de tecnologias associadas à I4.0, é mencionada em muitos estudos (PICCAROZZI; AQUILANI; GATTI, 2018; RÜSSMANN *et al.*, 2015; SCHWAB, 2016; UNCTAD, 2018), tornando-se um dos grandes impactos da I4.0 a interconectividade entre elas (OECD, 2017). A Figura 18 apresenta as tecnologias de base ou tecnologias habilitadoras que permitem o emprego das tecnologias do topo. Essas tecnologias são: *Big Data*, *Cloud Computing* e Internet das Coisas. Elas são apresentadas como tecnologias habilitadoras, pois habilitam as tecnologias do topo quando são integradas com tecnologias como simulação, inteligência artificial e sistemas integrados. Essa integração permitirá o desdobramento de tecnologias aplicadoras como a manufatura aditiva, máquinas e sistemas autônomos e integração homem-máquina (OECD, 2017). Nesta tese, chamar-se-á *dimensão tecnológica* as tecnologias habilitadoras, integradoras e aplicadoras.

De acordo com o estudo de Klingenberg, Borges e Antunes (2019), foram levantadas na literatura as 111 tecnologias mais frequentes identificadas no corpus, sendo que apenas cinco aparecem com mais frequência, como: CPS, IoT, BD, *Big Data Analytics* e CC. Entretanto, também se levou em consideração as nove tecnologias chaves de Rübmann *et al.* (2015) que são: robôs autônomos, simulações, integração de sistemas, IoT, Cibersegurança, CC, manufatura aditiva, realidade

aumentada e *Big Data*. Sendo assim, os critérios utilizados para selecionar as 15 tecnologias foram por meio da OECD (2017), Rübmann *et al.* (2015), Klingenberg, Borges e Antunes (2019) e a revisão bibliográfica. De posse das 15 tecnologias selecionadas criou-se a próxima versão do artefato V1.

Em relação à dimensão competitiva da estratégia de produção, conforme a Figura 18, é preciso que a firma conheça e defina os seus critérios competitivos e o impacto que essas tecnologias possam causar em seus negócios caso venham a adquiri-las. De acordo com Skinner (1974), a estratégia competitiva nas firmas demanda que as funções operacionais estejam alinhadas aos processos produtivos. Skinner (1974) define a estratégia de operações como uma ferramenta cujo objetivo principal é o aumento da competitividade da organização. Ainda que a busca por inovação seja cada vez mais iminente, os princípios básicos da vantagem competitiva permanecem presentes.

Slack, Chambers e Johnston (2009) expõem que a estratégia consiste em um padrão de decisões que indica o caminho global da empresa. Sendo assim, com a finalidade de atender às novas necessidades do mercado, a decisão de adotar tecnologias avançadas pode ser crítica para o sucesso a longo prazo, já que esses investimentos permitem oportunidades estratégicas às empresas em ambientes dinâmicos, nos quais é necessário atingir altos níveis de desempenho em múltiplas dimensões competitivas (SCANNELL; CALANTONE; MELNYK, 2012).

Entretanto, Porter e Heppelmann (2014) contribuem para a discussão ao considerar que uma empresa deve ser capaz de se diferenciar frente ao preço, custo e aos concorrentes e, quando possível, simultaneamente. Ainda mencionam que a eficácia operacional estabelece e sustenta a vantagem competitiva, uma vez que a adoção das melhores práticas em toda cadeia de valor, incluindo a inovação tecnológica e os novos padrões de eficácia operacional definidos por eles, torna-se meio para alcançar a vantagem competitiva. Para avaliar a competitividade das firmas frente aos seus concorrentes e ao ambiente em que atuam, Skinner (1974) indica que os critérios competitivos<sup>1</sup> são os fatores avaliados pelos clientes quando da decisão de compra.

---

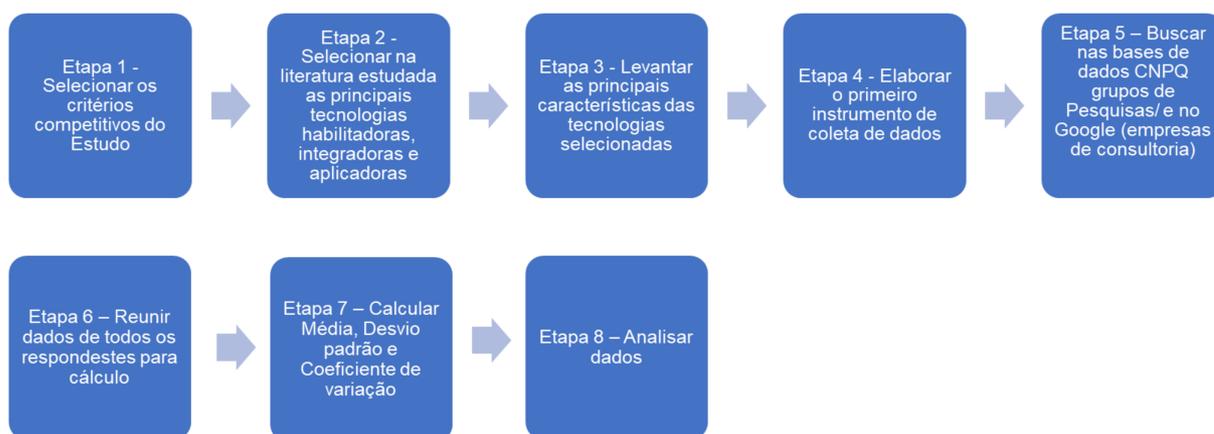
<sup>1</sup> O conceito de critérios competitivos adotado para esta tese é o de Skinner (1974), pois, segundo ele, os critérios competitivos são os fatores avaliados pelos clientes quando da decisão de compra. Cada um desses fatores influencia para a decisão, possuindo uma relevância diferente na decisão do consumidor.

O *framework* mostra uma relação entre a dimensão tecnológica e a dimensão competitiva da estratégia de produção. A ilustração sugere também a interação que há entre as tecnologias dentro da dimensão tecnológica.

#### 4.1.1 Versão V1 do Artefato

Com base nos dados levantados na RSL, bibliometria e referencial teórico, foi possível buscar informações para criar o instrumento de coleta de dados (a entrevista semiestruturada), o qual foi enviado aos especialistas. Cabe observar que ele se refere à Fase 6 do método de trabalho. As etapas da Figura 19 foram transcorridas para que fosse possível a proposição do artefato.

Figura 19 - Etapas da V1 do Artefato



Fonte: Elaborado pela autora

Na etapa 1, os critérios competitivos foram selecionados por meio da RSL e da técnica bola de neve. A partir do conceito desta, , durante a leitura dos artigos selecionados, foram encontradas outras referências a partir destes primeiros (LITTEL; CORCORAN; PILLAI, 2008). No presente estudo, todos os critérios competitivos mencionados na literatura foram considerados. Sendo assim, os critérios selecionados são: **custo, desempenho de entrega, velocidade, flexibilidade, qualidade, sustentabilidade e inovação**. Os conceitos adotados para os critérios selecionados nesta tese seguem no Quadro 19.

Quadro 19 - Conceitos Adotados aos Critérios Competitivos

<b>Critério</b>	<b>Conceito</b>	<b>Autor</b>
<b>Custo</b>	Buscar a percepção de todos os custos relacionados à produção, entrega, manutenção e descarte de produtos na empresa. Logo, a busca pelo baixo custo considera três conceitos, que são: produtividade, economia de escala e curva de experiência (CORBETT; WASSENHOVE, 1993). Competir no mercado com uma produção de baixo custo, mantendo os custos de fabricação competitivos (HUSSAIN <i>et al.</i> , 2015).	(CORBETT; WASSENHOVE, 1993)  (HUSSAIN <i>et al.</i> , 2015)
<b>Desempenho de Entrega</b>	O desempenho de entrega ou confiabilidade de entrega relaciona-se ao tempo que a firma leva para manufaturar e para que o produto chegue aos consumidores.	(PAIVA; CARVALHO JR.; FENSTERSEIFER, 2009)
<b>Velocidade</b>	Para competir por velocidade, a empresa precisa estar alinhada ao tempo que o cliente deve esperar desde a emissão do pedido até o recebimento do produto efetivamente.	(SLACK, 1993)
<b>Flexibilidade</b>	Capacidade das empresas em atenderem a mudanças de produtos ou serviços, visando aos prazos de entregas, volumes de produção, ampliação ou redução da variedade de produtos ou serviços, capacidade de mudanças quando necessário e, tendo como fator relevante por trás de tais alterações, a agilidade de adaptação das firmas às necessidades.	(SLACK, 1993)
<b>Qualidade</b>	A partir da apresentação de diferentes dimensões que definem qualidade dos produtos: desempenho, recursos, confiabilidade, conformidade, durabilidade, facilidade de manutenção e estética. A medida da qualidade está diretamente relacionada à importância da confiabilidade, durabilidade e inovação de um componente.	(GARVIN, 1987)  (HUSSAIN <i>et al.</i> , 2015)
<b>Sustentabilidade</b>	Reduzir as taxas de consumo de recursos naturais não renováveis com o objetivo de causar menor danos ao meio ambiente.	(CORRÊA; XAVIER, 2013)
<b>Inovação</b>	Novos produtos, novos métodos de produção, novas fontes de abastecimento, exploração de novos mercados e novas formas de organizar os negócios.	(SCHUMPETER, 1934)

Fonte: Elaborado pela autora

Na etapa 2, buscou-se, na literatura estudada na RSL e bibliometria, as principais tecnologias habilitadoras, integradoras e aplicadoras conforme OECD (2017). No estudo de Klingenberg, Borges e Antunes (2019), confirmam que existem na literatura mais de 111 tecnologias que são frequentemente mais usadas e constantes identificadas no corpus, sendo que apenas cinco aparecem com mais frequência, como: CPS, IoT, BD, *Big Data Analytics* e CC. Entretanto, também foram consideradas as nove tecnologias chaves de Rübmann *et al.* (2015) que são: robôs autônomos, simulações, integração de sistemas, IoT, Cibersegurança, CC, manufatura aditiva, realidade aumentada e *Big Data*. Sendo assim, os critérios

utilizados para selecionar as 15 tecnologias foram por meio da OECD (2017), Rübmann *et al.* (2015), Klingenberg, Borges e Antunes (2019) e a revisão bibliográfica.

Na etapa 3, elencou-se as principais características dessas tecnologias selecionadas anteriormente na literatura. Então, buscou-se no referencial teórico as características dessas tecnologias que estivessem mais alinhadas ao contexto do tema estudado. De posse desses dados, foi elaborado o primeiro instrumento de coleta de dados – a entrevista semiestruturada 1 (um), conforme o convite de entrevista (Apêndice B) e o instrumento de entrevista (Apêndice C), que tem a finalidade de verificar a relação do impacto do critério competitivo na tecnologia da I4.0.

Na entrevista, o respondente fez a relação de quanto cada critério competitivo impactava na tecnologia da Indústria 4.0 (característica), em conformidade com a escala Likert, para posterior priorização das tecnologias da I4.0, pontuando 1 (um) quando o impacto do critério for menor e 5 (cinco) quando o critério for maior na tecnologia. Com a escala de Likert, o respondente concorda ou discorda de declarações que expressam atitudes favoráveis ou desfavoráveis em relação ao objeto. Cabe dizer que a força da atitude é refletida na nota atribuída, e as notas individuais podem ser totalizadas por uma mensuração total de atitude. Essa totalização possibilita comparar o escore de uma pessoa com distribuição de pontuações de um grupo de amostragem bem definido (COOPER; SCHINDLER, 2016).

Os espaços em branco verticalmente foram disponibilizados para que os respondentes pudessem inserir critérios competitivos que identificassem pertinentes e que a pesquisa não tivesse abordado. Da mesma forma, os espaços horizontalmente em branco ficaram disponibilizados para que os respondentes pudessem inserir tecnologias da I4.0 que achassem pertinentes serem avaliadas como relevantes, considerando a estratégia de produção e implantação de tecnologias da I4.0.

Na etapa 5 da coleta de dados para as entrevistas com especialistas, foi feita uma pesquisa parametrizada na base de dados do CNPQ aos grupos de pesquisas por indústria 4.0 e inovação, com selo de “atualizados”. Os pesquisadores que estavam com o selo de “não atualizados” foram excluídos da seleção, sendo considerados somente “os atualizados”. De 90 (noventa) grupos pesquisados, somente 53 (cinquenta e três) grupos tinham o selo de “atualizados”, 47 (quarenta e

sete) grupos estavam “desatualizados”. Após levantar os dados dos grupos, foi elaborado um controle com dados dos grupos de pesquisa para envio das entrevistas (Apêndice D).

Nesta etapa, também foi feita uma pesquisa no site google, “empresas de consultoria em inovação e indústria 4.0”, para selecionar os demais especialistas (empresas de consultoria). Procurou-se dados de 40 (quarenta) empresas em todo o Brasil que tinha no seu portfólio “prestar serviço de consultoria em indústria 4.0” (Apêndice E). A Figura 20 demonstra o total de 93 entrevistas submetidas nesta fase, sendo um total de 63 respondentes, que foram 58,59% do total das entrevistas enviadas.

Figura 20 - Total de Respondentes – Entrevista (1)

<b>Especialistas</b>	<b>Entrevistas Submetidas</b>	<b>Retornos Recebidos</b>	<b>% recebido</b>
Grupo de Pesquisa	53 entrevistas	38 respostas	71,7%
Empresas de Consultoria	40 entrevistas	25 respostas	62,5%
<b>Total</b>	<b>93 entrevistas</b>	<b>63 respostas</b>	<b>58,59%</b>

Fonte: Elaborado pela autora

Após receber as respostas das entrevistas dos respondentes, iniciou-se a etapa 6, que teve como objetivo juntar todos os dados enviados pelos respondentes, colocar em ordem alfabética e de tecnologia. Após juntá-las em uma única base, começou-se a etapa 7, que se refere aos cálculos de média, desvio padrão e coeficiente de variação.

A primeira versão do artefato, a **V1**, consiste num esboço sem detalhamento, no intuito de não o tornar muito específico e, assim, restringir seu uso para a proposta de um *framework* para a priorização de tecnologias. Desse modo, não foram avaliados o desvio padrão e o coeficiente de variação, pois se levou em consideração somente a média. A estrutura serve de base para as investigações realizadas nas etapas subsequentes da pesquisa. A Figura 21 mostra a V1 do artefato sem tratamento dos dados a partir da entrevista dos especialistas de grupos de pesquisa e empresas de consultoria na área de produção, inovação e I4.0, ora chamados, nesta pesquisa, de especialistas.

Figura 21 - Artefato Versão Um - V1 sem Tratamento dos Dados

Tecnologias (OECD, 2017)	Tecnologias Referencial Teórico	Custo			Velocidade			Flexibilidade		
		Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
Aplicadoras	Fábricas Inteligentes	4,38	0,69	0,16	4,37	0,77	0,18	3,91	0,95	0,24
Aplicadoras	Impressão 3D	3,71	0,93	0,25	3,21	0,91	0,28	3,91	1,14	0,29
Aplicadoras	Manufatura Aditiva	3,87	0,95	0,25	3,78	0,78	0,21	4,43	0,73	0,17
Aplicadoras	Robôs	4,27	0,77	0,18	4,03	1,05	0,26	4,11	1,22	0,30
Habilitadoras	<i>Big Data</i>	3,69	0,97	0,26	4,39	0,69	0,16	3,69	0,97	0,26
Habilitadoras	Computação em Nuvem	3,88	1,00	0,26	4,08	0,87	0,21	4,17	0,83	0,20
Integradoras	Integração e Sistemas	3,71	0,83	0,22	3,87	0,79	0,21	3,73	0,86	0,23
Habilitadoras	IoT	4,01	0,91	0,23	4,12	0,69	0,17	3,99	0,80	0,20
Integradoras	Cibersegurança	3,77	0,98	0,26	3,74	0,91	0,24	3,34	0,98	0,29
Integradoras	CPS	4,22	0,87	0,21	4,36	0,75	0,17	3,79	1,04	0,28
Integradoras	Inteligência Artificial	4,25	0,88	0,21	4,02	0,76	0,19	3,94	0,97	0,25
Integradoras	Realidade Aumentada	3,87	0,83	0,22	3,86	0,85	0,22	3,84	0,75	0,20
Habilitadoras	RFID	3,78	0,93	0,25	3,99	0,74	0,19	3,59	0,97	0,27
Integradoras	Simulação	4,01	0,94	0,23	3,72	0,76	0,20	3,77	0,85	0,23
Aplicadoras	Veículos Autônomos	4,28	0,89	0,21	3,58	0,98	0,27	3,84	0,91	0,24
Tecnologias (OECD, 2017)	Tecnologias Referencial Teórico	Qualidade			Sustentabilidade			Inovação		
		Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
Aplicadoras	Fábricas Inteligentes	4,06	0,87	0,22	2,92	1,13	0,39	4,20	0,96	0,23
Aplicadoras	Impressão 3D	3,34	0,81	0,24	2,67	1,12	0,42	3,89	0,92	0,24
Aplicadoras	Manufatura Aditiva	3,72	1,01	0,27	2,97	1,02	0,34	3,87	0,90	0,23

<b>Aplicadoras</b>	Robôs	4,03	0,86	0,21	2,56	0,82	0,32	4,21	0,86	0,20
<b>Habilitadoras</b>	<i>Big Data</i>	3,77	1,07	0,28	2,73	1,29	0,47	3,70	0,88	0,24
<b>Habilitadoras</b>	Computação em Nuvem	3,67	0,90	0,25	2,48	1,12	0,45	3,76	0,99	0,26
<b>Integradoras</b>	Integração e Sistemas	3,53	0,99	0,28	2,21	1,00	0,45	3,55	0,99	0,28
<b>Habilitadoras</b>	IoT	3,84	0,83	0,22	2,64	1,01	0,38	4,08	0,82	0,20
<b>Integradoras</b>	Cibersegurança	3,81	1,08	0,28	2,37	1,27	0,54	3,99	0,97	0,24
<b>Integradoras</b>	CPS	4,05	0,90	0,22	2,88	1,20	0,42	4,38	0,88	0,20
<b>Integradoras</b>	Inteligência Artificial	3,76	0,89	0,24	2,66	1,00	0,38	4,37	0,78	0,18
<b>Integradoras</b>	Realidade Aumentada	3,51	0,85	0,24	2,63	1,02	0,39	4,08	0,72	0,18
<b>Habilitadoras</b>	RFID	3,57	0,99	0,28	2,53	0,99	0,39	3,92	0,85	0,22
<b>Integradoras</b>	Simulação	3,99	0,86	0,22	2,61	1,08	0,41	4,04	0,77	0,19
<b>Aplicadoras</b>	Veículos Autônomos	3,81	1,03	0,27	2,93	1,08	0,37	4,38	0,64	0,15
<b>Tecnologias</b>	<b>Tecnologias</b>	<b>Desempenho de Entrega</b>								
<b>(OECD, 2017)</b>	<b>Referencial Teórico</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Coefficiente de Variação</b>						
<b>Aplicadoras</b>	Fábricas Inteligentes	3,99	0,70	0,18						
<b>Aplicadoras</b>	Impressão 3D	3,52	0,95	0,27						
<b>Aplicadoras</b>	Manufatura Aditiva	4,15	0,70	0,17						
<b>Aplicadoras</b>	Robôs	4,02	0,82	0,20						
<b>Habilitadoras</b>	<i>Big Data</i>	3,98	0,91	0,23						
<b>Habilitadoras</b>	Computação em Nuvem	3,80	0,88	0,23						
<b>Integradoras</b>	Integração e Sistemas	3,59	0,83	0,23						
<b>Habilitadoras</b>	IoT	3,94	0,72	0,18						
<b>Integradoras</b>	Cibersegurança	3,72	1,21	0,32						
<b>Integradoras</b>	CPS	4,05	1,05	0,26						
<b>Integradoras</b>	Inteligência Artificial	3,89	0,88	0,23						

<b>Integradoras</b>	Realidade Aumentada	4,02	0,83	0,21
<b>Habilitadoras</b>	RFID	3,94	0,67	0,17
<b>Integradoras</b>	Simulação	3,95	0,88	0,22
<b>Aplicadoras</b>	Veículos Autônomos	3,95	0,78	0,20

Fonte: Elaborado pela autora

A etapa 8 da V1 do Artefato é analisar os resultados. Dessa forma, o artefato demonstra a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação de cada tecnologia por critério. Essa análise busca verificar qual a ordem de priorização das tecnologias de acordo com os especialistas. Com os resultados apresentados, pode-se observar que cada tecnologia mostra a sua priorização por critério competitivo.

Figura 22 - Artefato Versão Um - V1

<b>Tecnologias</b>	<b>CUSTO</b>	<b>Média</b>	<b>Tecnologias</b>	<b>VELOCIDADE</b>	<b>Média</b>	<b>Tecnologias</b>	<b>FLEXIBILIDADE</b>	<b>Média</b>
Aplicadoras	Fábricas Inteligentes	4,38	Habilitadoras	<i>Big Data</i>	4,39	Aplicadoras	Manufatura Aditiva	4,43
Aplicadoras	Veículos Autônomos	4,28	Aplicadoras	Fábricas Inteligentes	4,37	Habilitadoras	Computação em Nuvem	4,17
Aplicadoras	Robôs	4,27	Integradoras	CPS	4,36	Aplicadoras	Robôs	4,11
Integradoras	Inteligência Artificial	4,25	Habilitadoras	IoT	4,12	Habilitadoras	IoT	3,99
Integradoras	CPS	4,22	Habilitadoras	Computação em Nuvem	4,08	Integradoras	Inteligência Artificial	3,94
Habilitadoras	IoT	4,01	Aplicadoras	Robôs	4,03	Aplicadoras	Impressão 3D	3,91
Integradoras	Simulação	4,01	Integradoras	Inteligência Artificial	4,02	Aplicadoras	Fábricas Inteligentes	3,91
Habilitadoras	Computação em Nuvem	3,88	Habilitadoras	RFID	3,99	Aplicadoras	Veículos Autônomos	3,84
Aplicadoras	Manufatura Aditiva	3,87	Integradoras	Integração e Sistemas	3,87	Integradoras	Realidade Aumentada	3,84
Integradoras	Realidade Aumentada	3,87	Integradoras	Realidade Aumentada	3,86	Integradoras	CPS	3,79
Habilitadoras	RFID	3,78	Aplicadoras	Manufatura Aditiva	3,78	Integradoras	Simulação	3,77
Integradoras	Cibersegurança	3,77	Integradoras	Cibersegurança	3,74	Integradoras	Integração e Sistemas	3,73
Integradoras	Integração e Sistemas	3,71	Integradoras	Simulação	3,72	Habilitadoras	<i>Big Data</i>	3,69
Aplicadoras	Impressão 3D	3,71	Aplicadoras	Veículos Autônomos	3,58	Habilitadoras	RFID	3,59
Habilitadoras	<i>Big Data</i>	3,69	Aplicadoras	Impressão 3D	3,21	Integradoras	Cibersegurança	3,34
<b>Tecnologias</b>	<b>QUALIDADE</b>	<b>Média</b>	<b>Tecnologias</b>	<b>SUSTENTABILIDADE</b>	<b>Média</b>	<b>Tecnologias</b>	<b>INOVAÇÃO</b>	<b>Média</b>
Aplicadoras	Fábricas Inteligentes	4,06	Aplicadoras	Manufatura Aditiva	2,97	Integradoras	CPS	4,38
Integradoras	CPS	4,05	Aplicadoras	Veículos Autônomos	2,93	Aplicadoras	Veículos Autônomos	4,38
Aplicadoras	Robôs	4,03	Aplicadoras	Fábricas Inteligentes	2,92	Integradoras	Inteligência Artificial	4,37
Integradoras	Simulação	3,99	Integradoras	CPS	2,88	Aplicadoras	Robôs	4,21
Habilitadoras	IoT	3,84	Habilitadoras	<i>Big Data</i>	2,73	Aplicadoras	Fábricas Inteligentes	4,20

<b>Aplicadoras</b>	Veículos Autônomos	3,81	<b>Aplicadoras</b>	Impressão 3D	2,67	<b>Integradoras</b>	Realidade Aumentada	4,08
<b>Integradoras</b>	Cibersegurança	3,81	<b>Integradoras</b>	Inteligência Artificial	2,66	<b>Habilitadoras</b>	IoT	4,08
<b>Habilitadoras</b>	<i>Big Data</i>	3,77	<b>Habilitadoras</b>	IoT	2,64	<b>Integradoras</b>	Simulação	4,04
<b>Integradoras</b>	Inteligência Artificial	3,76	<b>Integradoras</b>	Realidade Aumentada	2,63	<b>Integradoras</b>	Cibersegurança	3,99
<b>Aplicadoras</b>	Manufatura Aditiva	3,72	<b>Integradoras</b>	Simulação	2,61	<b>Habilitadoras</b>	RFID	3,92
<b>Habilitadoras</b>	Computação em Nuvem	3,67	<b>Aplicadoras</b>	Robôs	2,56	<b>Aplicadoras</b>	Impressão 3D	3,89
<b>Habilitadoras</b>	RFID	3,57	<b>Habilitadoras</b>	RFID	2,53	<b>Aplicadoras</b>	Manufatura Aditiva	3,87
<b>Integradoras</b>	Integração e Sistemas	3,53	<b>Habilitadoras</b>	Computação em Nuvem	2,48	<b>Habilitadoras</b>	Computação em Nuvem	3,76
<b>Integradoras</b>	Realidade Aumentada	3,51	<b>Integradoras</b>	Cibersegurança	2,37	<b>Habilitadoras</b>	<i>Big Data</i>	3,70
<b>Aplicadoras</b>	Impressão 3D	3,34	<b>Aplicadoras</b>	Integração e Sistemas	2,21	<b>Integradoras</b>	Integração e Sistemas	3,55

Tecnologias			DESEMP. DE ENTREGA	
			Média	
<b>Aplicadoras</b>	Manufatura Aditiva			4,15
<b>Integradoras</b>	CPS			4,05
<b>Integradoras</b>	Realidade Aumentada			4,02
<b>Aplicadoras</b>	Robôs			4,02
<b>Aplicadoras</b>	Fábricas Inteligentes			3,99
<b>Habilitadoras</b>	<i>Big Data</i>			3,98
<b>Integradoras</b>	Simulação			3,95
<b>Aplicadoras</b>	Veículos Autônomos			3,95
<b>Habilitadoras</b>	IoT			3,94
<b>Habilitadoras</b>	RFID			3,94
<b>Integradoras</b>	Inteligência Artificial			3,89
<b>Habilitadoras</b>	Computação em Nuvem			3,80
<b>Integradoras</b>	Cibersegurança			3,72
<b>Integradoras</b>	Integração e Sistemas			3,59
<b>Aplicadoras</b>	Impressão 3D			3,52

Fonte: Elaborado pela autora

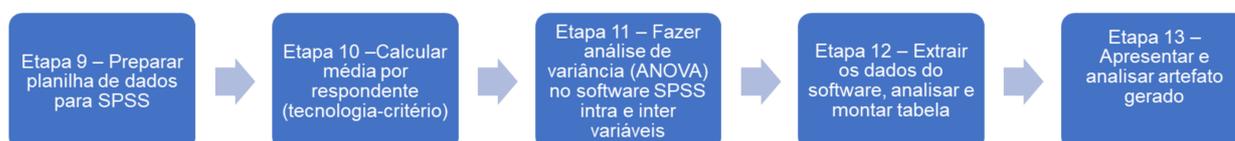
Ao observar a Figura 22, a partir da priorização do critério custo, levando em consideração a maior média e assim sucessivamente, a priorização apresenta a tecnologia aplicadora “fábricas inteligentes” com média de 4,38; seguida pela tecnologia integradora “veículos autônomos” com média de 4,28; tecnologia aplicadora “robôs” média de 4,27; tecnologia integradora “inteligência artificial” média de 4,25; tecnologia integradora “CPS” média de 4,22; tecnologia habilitadora “IoT” média de 4,01; tecnologia integradora “simulação” média de 4,01; tecnologia habilitadora “computação em nuvem” média de 3,88; tecnologia aplicadora “manufatura aditiva” com média 3,87; tecnologia integradora “realidade aumentada” média 3,87; tecnologia integradora “RFID” média 3,78; tecnologia integradora “cibersegurança” média 3,77; tecnologia habilitadora “integração e sistemas” média 3,71; tecnologia aplicadora “impressora 3D” média 3,71; e tecnologia habilitadora “big data” média 3,69.

Posto isso, tendo em vista os resultados, poder-se-ia fazer a priorização das tecnologias por “critério” e “tecnologia” selecionada. Contudo, apresenta-se, no próximo artefato, uma nova proposta, já que se buscou maior robustez e rigor na metodologia.

#### 4.1.2 Versão V2 do Artefato

Na Fase 5 do método do trabalho, foi definido que os dados seriam tratados estatisticamente para dar mais rigor à metodologia. Sendo assim, na Fase 6, de desenvolvimento do artefato, foram envolvidas as seguintes etapas conforme Figura 23.

Figura 23 - Etapas da V2 e V3 do Artefato



Fonte: Elaborado pela autora

A Fase 6 do desenvolvimento do artefato envolve a confecção de um protótipo do *framework* para a priorização de implantação das tecnologias da I4.0, a partir da estratégia de produção e dos critérios competitivos. Sendo assim, esta etapa se refere

à preparação de dados para serem inseridos no software SPSS versão 21.0. Os dados já tinham sido levantados nas etapas anteriores da pesquisa, porém, na etapa 9, foi necessário preparar as informações por respondente. Na etapa 10, por sua vez, realizou-se o cálculo da média por respondente, tecnologia e critério, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Preparação de Dados para o SPSS

<b>Respon-</b> <b>dente</b>	<b>Big Data_</b> <b>Custo</b>	<b>Big Data_</b> <b>Velocida-</b> <b>de</b>	<b>Big Data_</b> <b>Flexibili-</b> <b>dade</b>	<b>Big Data_</b> <b>Qualidade</b>	<b>Big Data_</b> <b>Sustenta-</b> <b>bilidade</b>	<b>Big Data_</b> <b>Inovação</b>	<b>Big Data_</b> <b>Desem-</b> <b>penho de</b> <b>Entrega</b>
1	4,71	4,14	4,14	2,29	1,14	3,86	3,14
2	3,29	4,43	3,43	3,86	1,86	3,29	4,43
3	4,29	4,57	4,57	4,86	2,00	4,29	4,29
4	4,71	3,71	3,00	3,71	1,00	3,29	4,00
5	3,57	4,57	3,43	3,86	2,43	3,14	4,17
6	4,00	4,43	3,29	4,14	2,43	4,71	3,57
7	3,29	4,86	4,57	4,29	4,86	3,14	4,29
8	3,43	3,86	2,86	3,71	2,71	3,14	3,29
9	3,57	3,71	2,86	3,43	2,57	2,57	3,29
10	4,00	4,86	4,86	4,86	4,86	4,71	4,86
11	4,57	4,43	4,00	4,00	3,86	4,00	3,57
12	3,86	4,57	4,29	4,71	3,29	4,29	4,57
13	3,71	4,29	4,29	3,14	2,29	3,71	4,14
14	3,29	4,14	3,14	3,71	1,86	3,43	4,29
15	2,57	4,43	3,86	4,86	3,00	4,14	4,71
16	2,43	4,86	3,29	1,00	1,25	4,00	3,00

\*foi ilustrado de forma resumida somente com a tecnologia *big data* devido ao tamanho da base de dados (63 linhas e 105 colunas)

Fonte: Elaborado pela autora

Após inserir os dados no software, foram submetidos à análise de variância ANOVA para medidas repetidas com ajuste das diferenças pelo teste de Bonferroni. O nível de significância adotado foi de 5% ( $p < 0,05$ ), e as análises foram realizadas no software SPSS versão 21.0 (IBM SPSS, 2020).

Na etapa 11, foram processados os dados, e as comparações geradas no teste foram intra variáveis. Dito de outro modo, a variação dentro dos grupos observou a discrepância de todos os valores brutos em relação às médias dos grupos aos quais pertencem, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Análise de Variância e Teste Bonferroni – Intra Variáveis (V2)

Variáveis	Custo	Velocidade	Flexibilidade	Qualidade	Sustentabilidade	Inovação	Desempenho Entrega
	Média±DP	Média±DP	Média±DP	Média±DP	Média±DP	Média±DP	Média±DP
<i>Big data</i>	3,69±0,62 <sup>b</sup>	4,39±0,37 <sup>c</sup>	3,69±0,66 <sup>b</sup>	3,77±0,92 <sup>b</sup>	2,67±1,09 <sup>a</sup>	3,70±0,58 <sup>b</sup>	4,00±0,56 <sup>b</sup>
Cibersegurança	3,77±0,63 <sup>cd</sup>	3,74±0,57 <sup>c</sup>	3,34±0,51 <sup>b</sup>	3,81±0,68 <sup>cd</sup>	2,36±0,96 <sup>a</sup>	4,00±0,69 <sup>d</sup>	3,73±0,92 <sup>cd</sup>
Computação em nuvem	3,87±0,65 <sup>bc</sup>	4,08±0,56 <sup>cd</sup>	4,17±0,57 <sup>d</sup>	3,67±0,57 <sup>b</sup>	2,48±0,95 <sup>a</sup>	3,75±0,75 <sup>b</sup>	3,79±0,66 <sup>b</sup>
CPS	4,22±0,48 <sup>c</sup>	4,36±0,35 <sup>c</sup>	3,79±0,81 <sup>b</sup>	4,00±0,75 <sup>b</sup>	2,81±1,09 <sup>a</sup>	4,38±0,34 <sup>c</sup>	4,05±0,82 <sup>bc</sup>
Fábricas inteligentes	4,37±0,47 <sup>c</sup>	4,37±0,61 <sup>c</sup>	3,92±0,60 <sup>b</sup>	4,06±0,71 <sup>b</sup>	2,93±0,92 <sup>a</sup>	4,20±0,60 <sup>bc</sup>	3,99±0,50 <sup>b</sup>
Impressão 3D	3,71±0,80 <sup>cd</sup>	3,24±0,72 <sup>ab</sup>	3,93±1,05 <sup>d</sup>	3,35±0,65 <sup>b</sup>	2,65±1,04 <sup>a</sup>	3,90±0,74 <sup>cd</sup>	3,54±0,87 <sup>bc</sup>
Integração e sistemas	3,71±0,65 <sup>b</sup>	3,86±0,57 <sup>b</sup>	3,73±0,63 <sup>b</sup>	3,53±0,82 <sup>b</sup>	2,21±0,88 <sup>a</sup>	3,55±0,85 <sup>b</sup>	3,59±0,66 <sup>b</sup>
Inteligência Artificial	4,25±0,59 <sup>de</sup>	4,02±0,54 <sup>bcd</sup>	3,94±0,77 <sup>bc</sup>	3,76±0,69 <sup>b</sup>	2,66±0,86 <sup>a</sup>	4,37±0,53 <sup>e</sup>	3,89±0,59 <sup>bc</sup>
IoT	4,01±0,67 <sup>bc</sup>	4,12±0,44 <sup>c</sup>	3,99±0,54 <sup>bc</sup>	3,84±0,60 <sup>b</sup>	2,64±0,80 <sup>a</sup>	4,08±0,57 <sup>bc</sup>	3,94±0,43 <sup>bc</sup>
Manufatura Aditiva	3,87±0,71 <sup>bc</sup>	3,78±0,52 <sup>b</sup>	4,43±0,45 <sup>d</sup>	3,72±0,81 <sup>b</sup>	2,97±0,82 <sup>a</sup>	3,87±0,70 <sup>b</sup>	4,15±0,47 <sup>c</sup>
Realidade Aumentada	3,87±0,60 <sup>cd</sup>	3,86±0,58 <sup>cd</sup>	3,84±0,55 <sup>c</sup>	3,50±0,58 <sup>b</sup>	2,61±0,85 <sup>a</sup>	4,09±0,53 <sup>d</sup>	4,03±0,54 <sup>cd</sup>
RFID	3,77±0,76 <sup>bcd</sup>	3,99±0,59 <sup>c</sup>	3,60±0,59 <sup>b</sup>	3,58±0,91 <sup>b</sup>	2,54±0,88 <sup>a</sup>	3,92±0,75 <sup>c</sup>	3,94±0,53 <sup>c</sup>
Robôs	4,27±0,58 <sup>b</sup>	4,05±0,58 <sup>b</sup>	4,11±0,59 <sup>b</sup>	4,03±0,83 <sup>b</sup>	2,56±0,97 <sup>a</sup>	4,21±0,68 <sup>b</sup>	4,02±0,58 <sup>b</sup>
Simulação	4,01±0,79 <sup>bc</sup>	3,72±0,62 <sup>b</sup>	3,77±0,75 <sup>bc</sup>	4,00±0,72 <sup>bc</sup>	2,61±0,95 <sup>a</sup>	4,04±0,63 <sup>c</sup>	3,95±0,70 <sup>bc</sup>
Veículos Autônomos	4,27±0,78 <sup>d</sup>	3,58±0,74 <sup>b</sup>	3,84±0,79 <sup>bc</sup>	3,78±0,94 <sup>bc</sup>	2,93±0,95 <sup>a</sup>	4,37±0,47 <sup>d</sup>	3,96±0,64 <sup>c</sup>
P	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

a,b,c,d,e Letras iguais não diferem pelo teste de Bonferroni a 5% de significância

Fonte: Elaborado pela autora

Na etapa 12, foi possível extrair do sistema as informações contidas na Tabela 4 e avaliar estatisticamente, conforme o teste de Bonferroni, levando em consideração que letras iguais não diferem a uma significância de 5%, sendo que nesta análise a tecnologia a ser considerada com maior relevância foi pontuada com a letra “e”, após “d” e, assim, sucessivamente. A análise da Tabela 3 foi elaborada em relação ao próprio grupo (variação intra), analisando dessa forma a discrepância de todos os valores brutos em relação às médias dos grupos aos quais pertencem (horizontalmente). Para ilustrar, tem-se a tecnologia *Big Data* que é analisada em todos os critérios competitivos.

A tecnologia *Big Data* apresenta no critério competitivo sustentabilidade a letra “a”, indicando que o valor de 2,69 de média é o menor valor de acordo com a análise de variância e teste Bonferroni; a seguir, apresenta média de 3,69 para custo e flexibilidade tendo letra “b”; média 3,70 para inovação e letra “b”; média de 3,77 para qualidade e média de 4,0 para desempenho de entrega e letra “b”; e, por último, apresenta média de 4,39 para velocidade e letra “c”, sendo o critério com maior peso pelo teste.

Após fazer o teste intra variáveis (V2), verificou-se que essa versão não atende ao objetivo deste estudo, visto que se deve levar em consideração o critério competitivo e fazer a escolha das tecnologias priorizadas por critério. De posse dessas

informações, gerou-se o teste inter variáveis na V3 do artefato que se apresenta a seguir.

#### 4.1.3 Versão V3 do Artefato

As comparações geradas no teste foram realizadas intra variáveis de tecnologias da I4.0 e critérios competitivos, que resultou na V2 do artefato conforme a Tabela 4. Após, foram realizadas as comparações inter variáveis, que é quando se calcula a variação entre grupos, ou seja, avalia-se a própria discrepância existente entre as médias dos vários grupos, sendo feita no sentido vertical conforme a Tabela 5.

Tabela 5 - Análise de Variância e Teste Bonferroni – Inter Variáveis (V3)

Variáveis	Custo	Velocidade	Flexibilidade	Qualidade	Sustentabilidade	Inovação	Desempenho entrega
	Média±DP	Média±DP	Média±DP	Média±DP	Média±DP	Média±DP	Média±DP
Big data	3,69±0,62 <sup>b</sup>	4,39±0,37 <sup>c</sup>	3,69±0,66 <sup>b</sup>	3,77±0,92 <sup>b</sup>	2,67±1,09 <sup>a</sup>	3,70±0,58 <sup>b</sup>	4,00±0,56 <sup>b</sup>
Cibersegurança	3,77±0,63 <sup>cd</sup>	3,74±0,57 <sup>c</sup>	3,34±0,51 <sup>b</sup>	3,81±0,68 <sup>cd</sup>	2,36±0,96 <sup>a</sup>	4,00±0,69 <sup>d</sup>	3,73±0,92 <sup>cd</sup>
Computação em nuvem	3,87±0,65 <sup>bc</sup>	4,08±0,56 <sup>cd</sup>	4,17±0,57 <sup>d</sup>	3,67±0,57 <sup>b</sup>	2,48±0,95 <sup>a</sup>	3,75±0,75 <sup>b</sup>	3,79±0,66 <sup>b</sup>
CPS	4,22±0,48 <sup>c</sup>	4,36±0,35 <sup>c</sup>	3,79±0,81 <sup>b</sup>	4,00±0,75 <sup>b</sup>	2,81±1,09 <sup>a</sup>	4,38±0,34 <sup>c</sup>	4,05±0,82 <sup>bc</sup>
Fábricas inteligentes	4,37±0,47 <sup>c</sup>	4,37±0,61 <sup>c</sup>	3,92±0,60 <sup>b</sup>	4,06±0,71 <sup>b</sup>	2,93±0,92 <sup>a</sup>	4,20±0,60 <sup>bc</sup>	3,99±0,50 <sup>b</sup>
Impressão 3D	3,71±0,80 <sup>cd</sup>	3,24±0,72 <sup>ab</sup>	3,93±1,05 <sup>d</sup>	3,35±0,65 <sup>b</sup>	2,65±1,04 <sup>a</sup>	3,90±0,74 <sup>cd</sup>	3,54±0,87 <sup>bc</sup>
Integração sistemas	3,71±0,65 <sup>b</sup>	3,86±0,57 <sup>b</sup>	3,73±0,63 <sup>b</sup>	3,53±0,82 <sup>b</sup>	2,21±0,88 <sup>a</sup>	3,55±0,85 <sup>b</sup>	3,59±0,66 <sup>b</sup>
Inteligência Artificial	4,25±0,59 <sup>de</sup>	4,02±0,54 <sup>bcd</sup>	3,94±0,77 <sup>bc</sup>	3,76±0,69 <sup>b</sup>	2,66±0,86 <sup>a</sup>	4,37±0,53 <sup>e</sup>	3,89±0,59 <sup>bc</sup>
IoT	4,01±0,67 <sup>bc</sup>	4,12±0,44 <sup>c</sup>	3,99±0,44 <sup>bc</sup>	3,84±0,60 <sup>b</sup>	2,64±0,80 <sup>a</sup>	4,08±0,57 <sup>bc</sup>	3,94±0,43 <sup>bc</sup>
Manufatura Aditiva	3,87±0,71 <sup>bc</sup>	3,78±0,52 <sup>b</sup>	4,43±0,45 <sup>d</sup>	3,72±0,81 <sup>b</sup>	2,97±0,82 <sup>a</sup>	3,87±0,70 <sup>b</sup>	4,15±0,47 <sup>c</sup>
Realidade Aumentada	3,87±0,60 <sup>cd</sup>	3,86±0,58 <sup>cd</sup>	3,84±0,55 <sup>c</sup>	3,50±0,58 <sup>b</sup>	2,61±0,85 <sup>a</sup>	4,09±0,53 <sup>d</sup>	4,03±0,54 <sup>cd</sup>
RFID	3,77±0,76 <sup>bcd</sup>	3,99±0,59 <sup>c</sup>	3,60±0,59 <sup>b</sup>	3,58±0,91 <sup>b</sup>	2,54±0,88 <sup>a</sup>	3,92±0,75 <sup>c</sup>	3,94±0,53 <sup>c</sup>
Robôs	4,27±0,58 <sup>b</sup>	4,05±0,58 <sup>b</sup>	4,11±0,59 <sup>b</sup>	4,03±0,83 <sup>b</sup>	2,56±0,97 <sup>a</sup>	4,21±0,68 <sup>b</sup>	4,02±0,58 <sup>b</sup>
Simulação	4,01±0,79 <sup>bc</sup>	3,72±0,62 <sup>b</sup>	3,77±0,75 <sup>bc</sup>	4,00±0,72 <sup>bc</sup>	2,61±0,95 <sup>a</sup>	4,04±0,63 <sup>c</sup>	3,95±0,70 <sup>bc</sup>
Veículos Autônomos	4,27±0,78 <sup>d</sup>	3,58±0,74 <sup>b</sup>	3,84±0,79 <sup>bc</sup>	3,78±0,94 <sup>bc</sup>	2,93±0,95 <sup>a</sup>	4,37±0,47 <sup>d</sup>	3,96±0,64 <sup>c</sup>
p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

a,b,c,d,e Letras iguais não diferem pelo teste de Bonferroni a 5% de significância

Fonte: Elaborado pela autora

Na etapa 12, foi possível extrair do sistema as informações contidas na Tabela 5 e avaliar estatisticamente, conforme o teste de Bonferroni, levando em consideração que letras iguais não diferem a uma significância de 5%, sendo que nesta análise a tecnologia a ser considerada com maior relevância foi pontuada com a letra “e”, após “d” e, assim, sucessivamente (ordem decrescente). A análise da Tabela 5 foi elaborada em relação a vários grupos (variação inter), avaliando, dessa forma, a

própria discrepância existente entre as médias dos vários grupos (verticalmente). Um exemplo é o critério custo sendo analisado em relação a todas as tecnologias.

A etapa 13 se refere a apresentar o artefato gerado, porém essa etapa só foi possível após a interpretação e montagem da Tabela 5. De posse dessas análises, gerou-se a V3 como segue na Figura 24.

Figura 24 - Artefato Versão Três- V3

<b>Tecnologias</b>	<b>CUSTO</b>	<b>Média</b>	<b>Tecnologias</b>	<b>VELOCIDADE</b>	<b>Média</b>	<b>Tecnologias</b>	<b>FLEXIBILIDADE</b>	<b>Média</b>
Aplicadoras	Veículos Autônomos	4,27 <sup>d</sup>	Habilitadoras	<i>Big Data</i>	4,39 <sup>c</sup>	Aplicadoras	Manufatura Aditiva	4,43 <sup>d</sup>
Aplicadoras	Fábricas Inteligentes	4,37 <sup>c</sup>	Aplicadoras	Fábricas Inteligentes	4,37 <sup>c</sup>	Habilitadoras	Computação em Nuvem	4,17 <sup>d</sup>
Aplicadoras	Robôs	4,27 <sup>b</sup>	Integradoras	CPS	4,36 <sup>c</sup>	Aplicadoras	Robôs	4,11 <sup>b</sup>
Integradoras	Inteligência Artificial	4,25 <sup>de</sup>	Habilitadoras	IoT	4,12 <sup>c</sup>	Habilitadoras	IoT	3,99 <sup>bc</sup>
Integradoras	CPS	4,22 <sup>c</sup>	Habilitadoras	Computação em Nuvem	4,08 <sup>cd</sup>	Integradoras	Inteligência Artificial	3,94 <sup>bc</sup>
Integradoras	Simulação	4,01 <sup>bc</sup>	Aplicadoras	Robôs	4,05 <sup>b</sup>	Aplicadoras	Impressão 3D	3,93 <sup>d</sup>
Habilitadoras	IoT	4,01 <sup>bc</sup>	Integradoras	Inteligência Artificial	4,02 <sup>bcd</sup>	Aplicadoras	Fábricas Inteligentes	3,92 <sup>b</sup>
Integradoras	Realidade Aumentada	3,87 <sup>cd</sup>	Habilitadoras	RFID	3,99 <sup>c</sup>	Aplicadoras	Veículos Autônomos	3,84 <sup>bc</sup>
Aplicadoras	Manufatura Aditiva	3,87 <sup>bc</sup>	Integradoras	Realidade Aumentada	3,86 <sup>cd</sup>	Integradoras	Realidade Aumentada	3,84 <sup>c</sup>
Habilitadoras	Computação em Nuvem	3,87 <sup>bc</sup>	Integradoras	Integração e Sistemas	3,86 <sup>b</sup>	Integradoras	CPS	3,79 <sup>b</sup>
Habilitadoras	RFID	3,77 <sup>bcd</sup>	Aplicadoras	Manufatura Aditiva	3,78 <sup>b</sup>	Integradoras	Simulação	3,77 <sup>bc</sup>
Integradoras	Cibersegurança	3,77 <sup>cd</sup>	Integradoras	Cibersegurança	3,74 <sup>c</sup>	Integradoras	Integração e Sistemas	3,73 <sup>b</sup>
Aplicadoras	Impressão 3D	3,71 <sup>cd</sup>	Integradoras	Simulação	3,72 <sup>b</sup>	Habilitadoras	<i>Big Data</i>	3,69 <sup>b</sup>
Integradoras	Integração e Sistemas	3,71 <sup>b</sup>	Aplicadoras	Veículos Autônomos	3,58 <sup>b</sup>	Habilitadoras	RFID	3,60 <sup>b</sup>
Habilitadoras	<i>Big Data</i>	3,69 <sup>b</sup>	Aplicadoras	Impressão 3D	3,24 <sup>ab</sup>	Integradoras	Cibersegurança	3,34 <sup>b</sup>
<b>Tecnologias</b>	<b>QUALIDADE</b>	<b>Média</b>	<b>Tecnologias</b>	<b>SUSTENTABILIDADE</b>	<b>Média</b>	<b>Tecnologias</b>	<b>INOVAÇÃO</b>	<b>Média</b>
Aplicadoras	Fábricas Inteligentes	4,06 <sup>b</sup>	Aplicadoras	Manufatura Aditiva	2,97 <sup>a</sup>	Integradoras	Inteligência Artificial	4,37 <sup>e</sup>
Aplicadoras	Robôs	4,03 <sup>b</sup>	Aplicadoras	Fábricas Inteligentes	2,93 <sup>a</sup>	Aplicadoras	Veículos Autônomos	4,37 <sup>d</sup>
Integradoras	CPS	4,00 <sup>b</sup>	Aplicadoras	Veículos Autônomos	2,93 <sup>a</sup>	Integradoras	CPS	4,38 <sup>c</sup>
Integradoras	Simulação	4,00 <sup>bc</sup>	Integradoras	CPS	2,81 <sup>a</sup>	Aplicadoras	Robôs	4,21 <sup>b</sup>
Habilitadoras	IoT	3,84 <sup>b</sup>	Habilitadoras	<i>Big Data</i>	2,67 <sup>a</sup>	Aplicadoras	Fábricas Inteligentes	4,20 <sup>bc</sup>
Integradoras	Cibersegurança	3,81 <sup>cd</sup>	Integradoras	Inteligência Artificial	2,66 <sup>a</sup>	Integradoras	Realidade Aumentada	4,09 <sup>d</sup>
Aplicadoras	Veículos Autônomos	3,78 <sup>bc</sup>	Aplicadoras	Impressão 3D	2,65 <sup>a</sup>	Habilitadoras	IoT	4,08 <sup>bc</sup>
Habilitadoras	<i>Big Data</i>	3,77 <sup>b</sup>	Habilitadoras	IoT	2,64 <sup>a</sup>	Integradoras	Simulação	4,04 <sup>c</sup>
Integradoras	Inteligência Artificial	3,76 <sup>b</sup>	Integradoras	Simulação	2,61 <sup>a</sup>	Integradoras	Cibersegurança	4,00 <sup>d</sup>
Aplicadoras	Manufatura Aditiva	3,72 <sup>b</sup>	Integradoras	Realidade Aumentada	2,61 <sup>a</sup>	Habilitadoras	RFID	3,92 <sup>c</sup>

Habilitadoras	Computação em Nuvem	3,67 <sup>b</sup>	Aplicadoras	Robôs	2,56 <sup>a</sup>	Aplicadoras	Impressão 3D	3,90 <sup>cd</sup>
Habilitadoras	RFID	3,58 <sup>b</sup>	Habilitadoras	RFID	2,54 <sup>a</sup>	Aplicadoras	Manufatura Aditiva	3,87 <sup>b</sup>
Integradoras	Integração e sistemas	3,53 <sup>b</sup>	Habilitadoras	Computação em Nuvem	2,48 <sup>a</sup>	Habilitadoras	Computação em Nuvem	3,75 <sup>b</sup>
Integradoras	Realidade Aumentada	3,50 <sup>b</sup>	Integradoras	Cibersegurança	2,36 <sup>a</sup>	Habilitadoras	<i>Big Data</i>	3,70 <sup>b</sup>
Aplicadoras	Impressão 3D	3,35 <sup>b</sup>	Integradoras	Integração e Sistemas	2,21 <sup>a</sup>	Integradoras	Integração e Sistemas	3,55 <sup>b</sup>
			<b>Tecnologias</b>	<b>DESEMP. DE ENTREGA</b>				
					<b>Média</b>			
			Aplicadoras	Manufatura Aditiva	4,15 <sup>c</sup>			
			Integradoras	Realidade Aumentada	4,03 <sup>cd</sup>			
			Integradoras	CPS	4,05 <sup>bc</sup>			
			Aplicadoras	Robôs	4,02 <sup>b</sup>			
			Habilitadoras	<i>Big Data</i>	4,00 <sup>b</sup>			
			Aplicadoras	Fábricas Inteligentes	3,99 <sup>b</sup>			
			Aplicadoras	Veículos Autônomos	3,96 <sup>c</sup>			
			Integradoras	Simulação	3,95 <sup>bc</sup>			
			Habilitadoras	RFID	3,94 <sup>c</sup>			
			Habilitadoras	IoT	3,94 <sup>bc</sup>			
			Integradoras	Inteligência Artificial	3,89 <sup>bc</sup>			
			Habilitadoras	Computação em Nuvem	3,79 <sup>b</sup>			
			Integradoras	Cibersegurança	3,73 <sup>cd</sup>			
			Integradoras	Integração e Sistemas	3,59 <sup>b</sup>			
			Aplicadoras	Impressão 3D	3,54 <sup>bc</sup>			

Fonte: Elaborado pela autora

Para um maior entendimento das diferenças do artefato V1 que foi apresentado levando em consideração a priorização pela média e comparando com a V3, em que foi realizada a análise estatística, em que as variáveis foram descritas por média e desvio padrão, também foram comparadas pela Análise de Variância (ANOVA) para medidas repetidas com ajuste das diferenças pelo teste de Bonferroni, sendo que o nível de significância adotado foi de 5% ( $p < 0,05$ ) e as análises foram realizadas no programa SPSS versão 21.0, será apresentada na próxima seção uma comparação da priorização por média e pelo teste estatístico.

#### 4.1.3.1 Comparação das Priorizações

Optou-se por avaliar cada critério e comparar cada priorização para que se possa analisar com profundidade o fenômeno no seu contexto. Dessa forma, trabalha-se com vistas a imprimir uma maior robustez às conclusões, sendo assim, as comparações serão apresentadas por critério apresentando o cálculo por média conforme artefato V1 e cálculo ANOVA (teste de Bonferroni) artefato V3. A Figura 25 apresenta a comparação do critério custo.

Figura 25 - Comparação Priorização Critério Custo - Média versus ANOVA (Teste de Bonferroni)

Tecnologias	CUSTO	Média	Tecnologias	CUSTO	Média
Aplicadoras	Fábricas Inteligentes	4,38	Aplicadoras	Veículos Autônomos	4,27 <sup>d</sup>
Aplicadoras	Veículos Autônomos	4,28	Aplicadoras	Fábricas Inteligentes	4,37 <sup>c</sup>
Aplicadoras	Robôs	4,27	Aplicadoras	Robôs	4,27 <sup>b</sup>
Integradoras	Inteligência Artificial	4,25	Integradoras	Inteligência Artificial	4,25 <sup>de</sup>
Integradoras	CPS	4,22	Integradoras	CPS	4,22 <sup>c</sup>
Habilitadoras	IoT	4,01	Integradoras	Simulação	4,01 <sup>bc</sup>
Integradoras	Simulação	4,01	Habilitadoras	IoT	4,01 <sup>bc</sup>
Habilitadoras	Computação em Nuvem	3,88	Integradoras	Realidade Aumentada	3,87 <sup>cd</sup>
Aplicadoras	Manufatura Aditiva	3,87	Aplicadoras	Manufatura Aditiva	3,87 <sup>bc</sup>
Integradoras	Realidade Aumentada	3,87	Habilitadoras	Computação em Nuvem	3,87 <sup>bc</sup>
Habilitadoras	RFID	3,78	Habilitadoras	RFID	3,77 <sup>bcd</sup>
Integradoras	Cibersegurança	3,77	Integradoras	Cibersegurança	3,77 <sup>cd</sup>
Integradoras	Integração e Sistemas	3,71	Aplicadoras	Impressão 3D	3,71 <sup>cd</sup>
Aplicadoras	Impressão 3D	3,71	Integradoras	Integração e Sistemas	3,71 <sup>b</sup>
Habilitadoras	<i>Big Data</i>	3,69	Habilitadoras	<i>Big Data</i>	3,69 <sup>b</sup>

Fonte: Elaborado pela autora

Observa-se que a primeira tecnologia a ser priorizada, conforme os respondentes da pesquisa, levando em consideração o critério custo, é fábricas inteligentes, seguida por veículos autônomos e robôs, pelo cálculo média. Ao fazer a

análise estatística pela análise de variância ANOVA e teste de Bonferroni, observa-se que a primeira tecnologia a ser priorizada foi veículos autônomos, após fábricas inteligentes e robôs. Ao analisar todas as tecnologias, nota-se que há uma pequena variação nas primeiras tecnologias priorizadas, porém, após a terceira, há várias tecnologias na mesma posição. Conforme o teste de Bonferroni, o nível de significância adotado foi de 5% ( $p < 0,05$ ). e então, quando as letras forem iguais, é insignificante escolher por uma tecnologia ou outra tecnologia.

O critério competitivo custo refere-se à percepção de todos os custos relacionados à produção, entrega, manutenção e descarte de produtos na empresa (CORBETT; WASSENHOVE, 1993). Sendo assim, a busca pelo baixo custo considera três conceitos, que são: produtividade, economia de escala e curva de experiência. Além disso, a performance também pode ser beneficiada por meio de melhorias nos processos e dos avanços tecnológicos (PAIVA; CARVALHO JR.; FENSTERSEIFER, 2009). Contudo, é importante destacar a necessidade de emprego de esforços por parte da empresa para competir no mercado com uma produção de baixo custo, mantendo os custos de fabricação competitivos (HUSSAIN *et al.*, 2015).

A Figura 26 apresenta a comparação da priorização do critério velocidade, em relação ao qual se observa uma semelhança muito grande entre os resultados da média e análise estatística ANOVA. Somente a tecnologia da 9ª e 10ª posição está invertida, sendo que as três primeiras tecnologias a serem priorizadas pelo critério velocidade são *big data*, fábricas inteligentes e CPS. Em consonância com o teste de Bonferroni, o nível de significância adotado foi de 5% ( $p < 0,05$ ). Desse modo, quando as letras forem iguais, é insignificante escolher por uma tecnologia ou outra tecnologia.

Figura 26 - Comparação Priorização Critério Velocidade - Média versus ANOVA (Teste de Bonferroni)

Tecnologias	VELOCIDADE	Média	Tecnologias	VELOCIDADE	Média
Habilitadoras	<i>Big Data</i>	4,39	Habilitadoras	<i>Big Data</i>	4,39 <sup>c</sup>
Aplicadoras	Fábricas Inteligentes	4,37	Aplicadoras	Fábricas Inteligentes	4,37 <sup>c</sup>
Integradoras	CPS	4,36	Integradoras	CPS	4,36 <sup>c</sup>
Habilitadoras	IoT	4,12	Habilitadoras	IoT	4,12 <sup>c</sup>
Habilitadoras	Computação em Nuvem	4,08	Habilitadoras	Computação em Nuvem	4,08 <sup>cd</sup>
Aplicadoras	Robôs	4,03	Aplicadoras	Robôs	4,05 <sup>b</sup>
Integradoras	Inteligência Artificial	4,02	Integradoras	Inteligência Artificial	4,02 <sup>bcd</sup>
Habilitadoras	RFID	3,99	Habilitadoras	RFID	3,99 <sup>c</sup>
Integradoras	Integração e Sistemas	3,87	Integradoras	Realidade Aumentada	3,86 <sup>cd</sup>
Integradoras	Realidade Aumentada	3,86	Integradoras	Integração e Sistemas	3,86 <sup>b</sup>

continua

continuação

<b>Tecnologias</b>	<b>VELOCIDADE</b>	<b>Média</b>	<b>Tecnologias</b>	<b>VELOCIDADE</b>	<b>Média</b>
Aplicadoras	Manufatura Aditiva	3,78	Aplicadoras	Manufatura Aditiva	3,78 <sup>b</sup>
Integradoras	Cibersegurança	3,74	Integradoras	Cibersegurança	3,74 <sup>c</sup>
Integradoras	Simulação	3,72	Integradoras	Simulação	3,72 <sup>b</sup>
Aplicadoras	Veículos autônomos	3,58	Aplicadoras	Veículos Autônomos	3,58 <sup>b</sup>
Aplicadoras	Impressão 3D	3,21	Aplicadoras	Impressão 3D	3,24 <sup>ab</sup>

Fonte: Elaborado pela autora

O critério competitivo velocidade refere-se aos eventos externos, sendo analisado o tempo que o cliente leva para receber o produto após a solicitação (SLACK; LEWIS, 2009). Para Slack (1993), para competir por velocidade, a empresa precisa estar alinhada ao tempo que o cliente deve esperar desde a emissão do pedido até o recebimento do produto efetivamente. Por isso, muitas empresas usam o fator tempo para melhorar o desempenho em outros critérios competitivos, tais como: custo, confiabilidade de entrega e flexibilidade, não sendo tal fator utilizado com a finalidade de competir por prazos de entrega mais curtos (ROHR; CORREA, 1998).

A Figura 27 apresenta a comparação da priorização do critério flexibilidade, e se observa que independente da técnica utilizada, as tecnologias ficaram priorizadas igualmente. Conforme o teste de Bonferroni, o nível de significância adotado foi de 5% ( $p < 0,05$ ). Desse modo, quando as letras forem iguais, é insignificante escolher por uma tecnologia ou outra tecnologia.

Figura 27 - Comparação Priorização Critério Flexibilidade - Média versus ANOVA (Teste de Bonferroni)

<b>Tecnologias</b>	<b>FLEXIBILIDADE</b>	<b>Média</b>	<b>Tecnologias</b>	<b>FLEXIBILIDADE</b>	<b>Média</b>
Aplicadoras	Manufatura Aditiva	4,43	Aplicadoras	Manufatura Aditiva	4,43 <sup>d</sup>
Habilitadoras	Computação em Nuvem	4,17	Habilitadoras	Computação em Nuvem	4,17 <sup>d</sup>
Aplicadoras	Robôs	4,11	Aplicadoras	Robôs	4,11 <sup>b</sup>
Habilitadoras	IoT	3,99	Habilitadoras	IoT	3,99 <sup>bc</sup>
Integradoras	Inteligência Artificial	3,94	Integradoras	Inteligência Artificial	3,94 <sup>bc</sup>
Aplicadoras	Impressão 3D	3,91	Aplicadoras	Impressão 3D	3,93 <sup>d</sup>
Aplicadoras	Fábricas Inteligentes	3,91	Aplicadoras	Fábricas Inteligentes	3,92 <sup>b</sup>
Aplicadoras	Veículos Autônomos	3,84	Aplicadoras	Veículos Autônomos	3,84 <sup>bc</sup>
Integradoras	Realidade Aumentada	3,84	Integradoras	Realidade Aumentada	3,84 <sup>c</sup>

continua

Tecnologias	FLEXIBILIDADE	Média	Tecnologias	FLEXIBILIDADE	Média
Integradoras	CPS	3,79	Integradoras	CPS	3,79 <sup>b</sup>
Integradoras	Simulação	3,77	Integradoras	Simulação	3,77 <sup>bc</sup>
Integradoras	Integração e Sistemas	3,73	Integradoras	Integração e Sistemas	3,73 <sup>b</sup>
Habilitadoras	<i>Big Data</i>	3,69	Habilitadoras	<i>Big Data</i>	3,69 <sup>b</sup>
Habilitadoras	RFID	3,59	Habilitadoras	RFID	3,60 <sup>b</sup>
Integradoras	Cibersegurança	3,34	Integradoras	Cibersegurança	3,34 <sup>b</sup>

Fonte: Elaborado pela autora

Quanto ao critério competitivo flexibilidade, Wheelwright (1984) o relaciona à capacidade de aumentar ou diminuir o ritmo da produção. Slack (1993), a seu tempo, caracteriza o critério competitivo flexibilidade como a capacidade de as empresas atenderem a mudanças de produtos ou serviços, visando aos prazos de entregas, volumes de produção, ampliação ou redução da variedade de produtos ou serviços, capacidade de mudanças quando necessário e, tendo como fator relevante por trás de tais alterações, a agilidade de adaptação das firmas às necessidades dos clientes. Teixeira *et al.* (2014) corroboram com a discussão ao indicarem que a flexibilidade é uma competência relacionada à capacidade da organização em reagir de maneira flexível frente a mudanças repentinas de demanda.

A Figura 28 apresenta a priorização das tecnologias pelo critério sustentabilidade e se observa que as três primeiras tecnologias a serem priorizadas pela média são: manufatura aditiva, veículos autônomos e fábricas inteligentes. Já, pela análise de variância ANOVA e teste de Bonferroni, observa-se que as tecnologias a serem priorizadas são: manufatura aditiva, fábricas inteligentes e veículos autônomos. Comparando as demais posições, verifica-se que a maioria das tecnologias fica na mesma posição. No entanto, levando em consideração que todas as tecnologias e médias na ANOVA e teste de Bonferroni receberam a letra “a”, é insignificante a ordem de priorização destas tecnologias. Conforme o teste de Bonferroni, o nível de significância adotado foi de 5% ( $p < 0,05$ ). Então, quando as letras forem iguais, é insignificante escolher por uma tecnologia ou outra tecnologia.

Figura 28 - Comparação Priorização Critério Sustentabilidade - Média versus ANOVA (Teste de Bonferroni)

Tecnologias	SUSTENTABILIDADE	Média	Tecnologias	SUSTENTABILIDADE	Média
Aplicadoras	Manufatura Aditiva	2,97	Aplicadoras	Manufatura Aditiva	2,97 <sup>a</sup>
Aplicadoras	Veículos Autônomos	2,93	Aplicadoras	Fábricas Inteligentes	2,93 <sup>a</sup>
Aplicadoras	Fábricas Inteligentes	2,92	Aplicadoras	Veículos Autônomos	2,93 <sup>a</sup>
Integradoras	CPS	2,88	Integradoras	CPS	2,81 <sup>a</sup>
Habilitadoras	<i>Big Data</i>	2,73	Habilitadoras	<i>Big Data</i>	2,67 <sup>a</sup>
Aplicadoras	Impressão 3D	2,67	Integradoras	Inteligência Artificial	2,66 <sup>a</sup>
Integradoras	Inteligência Artificial	2,66	Aplicadoras	Impressão 3D	2,65 <sup>a</sup>
Habilitadoras	IoT	2,64	Habilitadoras	IoT	2,64 <sup>a</sup>
Integradoras	Realidade Aumentada	2,63	Integradoras	Simulação	2,61 <sup>a</sup>
Integradoras	Simulação	2,61	Integradoras	Realidade Aumentada	2,61 <sup>a</sup>
Aplicadoras	Robôs	2,56	Aplicadoras	Robôs	2,56 <sup>a</sup>
Habilitadoras	RFID	2,53	Habilitadoras	RFID	2,54 <sup>a</sup>
Habilitadoras	Computação em Nuvem	2,48	Habilitadoras	Computação em Nuvem	2,48 <sup>a</sup>
Integradoras	Cibersegurança	2,37	Integradoras	Cibersegurança	2,36 <sup>a</sup>
Integradoras	Integração e Sistemas	2,21	Integradoras	Integração e Sistemas	2,21 <sup>a</sup>

Fonte: Elaborado pela autora

O critério sustentabilidade, mesmo sendo de grande importância para a sociedade, não é um critério muito discutido na literatura, mas se optou por incluí-lo entre os critérios escolhidos nesta tese devido à sua importância começar a ser discutida dentro das organizações. Corrêa e Xavier (2013) comentam que existe uma crescente pressão social para que as organizações reduzam suas taxas de consumo de recursos naturais não renováveis com o objetivo de causar menor danos ao meio ambiente. Assim sendo, Lira, Gomes e Cavalcanti (2015) expõem que empresas como a Natura, por exemplo, entram no mercado competindo com esse critério, e indicam que os principais critérios competitivos podem ser definidos como: custo, qualidade, flexibilidade, desempenho nas entregas e responsabilidade socioambiental.

A Figura 29 apresenta a comparação da priorização das tecnologias no critério inovação. A priorização pelo critério média apresentou as tecnologias CPS, veículos autônomos e inteligência artificial como as primeiras tecnologias priorizadas.

Enquanto pela análise de variância ANOVA e teste de Bonferroni, observa-se que as tecnologias a serem priorizadas são inteligência artificial, veículos autônomos e CPS, e as demais tecnologias todas ficaram iguais tanto no critério média como no critério ANOVA e teste de Bonferroni.

Figura 29 - Comparação Priorização Critério Inovação - Média versus ANOVA (Teste de Bonferroni)

Tecnologias	INOVAÇÃO	Média	Tecnologias	INOVAÇÃO	Média
Integradoras	CPS	4,38	Integradoras	Inteligência Artificial	4,37 <sup>e</sup>
Aplicadoras	Veículos Autônomos	4,38	Aplicadoras	Veículos Autônomos	4,37 <sup>d</sup>
Integradoras	Inteligência Artificial	4,37	Integradoras	CPS	4,38 <sup>c</sup>
Aplicadoras	Robôs	4,21	Aplicadoras	Robôs	4,21 <sup>b</sup>
Aplicadoras	Fábricas Inteligentes	4,20	Aplicadoras	Fábricas Inteligentes	4,20 <sup>bc</sup>
Integradoras	Realidade Aumentada	4,08	Integradoras	Realidade Aumentada	4,09 <sup>d</sup>
Habilitadoras	IoT	4,08	Habilitadoras	IoT	4,08 <sup>bc</sup>
Integradoras	Simulação	4,04	Integradoras	Simulação	4,04 <sup>c</sup>
Integradoras	Cibersegurança	3,99	Integradoras	Cibersegurança	4,00 <sup>d</sup>
Habilitadoras	RFID	3,92	Habilitadoras	RFID	3,92 <sup>c</sup>
Aplicadoras	Impressão 3D	3,89	Aplicadoras	Impressão 3D	3,90 <sup>cd</sup>
Aplicadoras	Manufatura Aditiva	3,87	Aplicadoras	Manufatura Aditiva	3,87 <sup>b</sup>
Habilitadoras	Computação em Nuvem	3,76	Habilitadoras	Computação em Nuvem	3,75 <sup>b</sup>
Habilitadoras	<i>Big Data</i>	3,70	Habilitadoras	<i>Big Data</i>	3,70 <sup>b</sup>
Integradoras	Integração e Sistemas	3,55	Integradoras	Integração e Sistemas	3,55 <sup>b</sup>

Fonte: Elaborado pela autora

Quanto ao critério inovação, Schumpeter (1934) caracteriza alguns tipos de inovação. São eles: novos produtos, novos métodos de produção, novas fontes de abastecimento, exploração de novos mercados e novas formas de organizar os negócios. Para Teixeira *et al.* (2014), o critério inovação refere-se à habilidade da empresa para renovar-se rapidamente. Segundo Fleury e Fleury (2003), a importância da inovação é relevante quando está presente no processo diretamente atrelada ao produto. Os autores ainda complementam que a competitividade adquirida por

empresas, cuja estratégia se baseia em inovação, pode atingir o sucesso por meio da introdução sistemática de produtos novos no mercado.

A Figura 30 apresenta a comparação da priorização das tecnologias no critério desempenho de entrega, e a priorização pelo critério média apresentou as tecnologias manufatura aditiva, CPS e realidade aumentada, enquanto, pela ANOVA e teste de Bonferroni, apresentou as mesmas tecnologias, porém em outra sequência, como segue: manufatura aditiva, realidade aumentada e CPS. A 4ª tecnologia robôs, 11ª tecnologia inteligência artificial, 12ª computação em nuvem, 13ª tecnologia cibersegurança, 14ª integração de sistemas e a 15ª tecnologia impressão 3D ficaram todas na mesma ordem de priorização tanto na média quanto pela ANOVA e teste de Bonferroni. As demais posições ficaram diferentes na ordem de priorização, mas, conforme o teste de Bonferroni, o nível de significância adotado foi de 5% ( $p < 0,05$ ). Então, quando as letras forem iguais, é insignificante escolher por uma tecnologia ou outra tecnologia.

Figura 30 - Comparação Priorização Critério Desempenho de Entrega - Média versus ANOVA (Teste de Bonferroni)

Tecnologias	DESEMP. DE ENTREGA	Média	Tecnologias	DESEMP. DE ENTREGA	Média
Aplicadoras	Manufatura Aditiva	4,15	Aplicadoras	Manufatura Aditiva	4,15 <sup>c</sup>
Integradoras	CPS	4,05	Integradoras	Realidade Aumentada	4,03 <sup>cd</sup>
Integradoras	Realidade Aumentada	4,02	Integradoras	CPS	4,05 <sup>bc</sup>
Aplicadoras	Robôs	4,02	Aplicadoras	Robôs	4,02 <sup>b</sup>
Aplicadoras	Fábricas Inteligentes	3,99	Habilitadoras	<i>Big Data</i>	4,00 <sup>b</sup>
Habilitadoras	<i>Big Data</i>	3,98	Aplicadoras	Fábricas Inteligentes	3,99 <sup>b</sup>
Integradoras	Simulação	3,95	Aplicadoras	Veículos Autônomos	3,96 <sup>c</sup>
Aplicadoras	Veículos Autônomos	3,95	Integradoras	Simulação	3,95 <sup>bc</sup>
Habilitadoras	IoT	3,94	Habilitadoras	RFID	3,94 <sup>c</sup>
Habilitadoras	RFID	3,94	Habilitadoras	IoT	3,94 <sup>bc</sup>
Integradoras	Inteligência Artificial	3,89	Integradoras	Inteligência Artificial	3,89 <sup>bc</sup>
Habilitadoras	Computação em Nuvem	3,80	Habilitadoras	Computação em Nuvem	3,79 <sup>b</sup>
Integradoras	Cibersegurança	3,72	Integradoras	Cibersegurança	3,73 <sup>cd</sup>

continua

Tecnologias	DESEMP. DE ENTREGA	Média	Tecnologias	DESEMP. DE ENTREGA	Média
Integradoras	Integração e Sistemas	3,59	Integradoras	Integração e Sistemas	3,59 <sup>b</sup>
Aplicadoras	Impressão 3D	3,52	Aplicadoras	Impressão 3D	3,54 <sup>bc</sup>

Fonte: Elaborado pela autora

O critério desempenho de entrega ou confiabilidade de entrega relaciona-se ao tempo que a firma leva para manufaturar e para que o produto chegue aos consumidores (PAIVA; CARVALHO JR.; FENSTERSEIFER, 2009). Por outro lado, a entrega geralmente é definida pelas operações da organização, sendo uma delas a rapidez com que o produto ou serviço é entregue a um cliente pontualmente (PAIVA; CARVALHO JR.; FENSTERSEIFER, 2009; SLACK, 1993). De outra forma, tem-se a confiabilidade dos produtos ou serviços desenvolvidos e entregues ao mercado. Também, atrelado ao desempenho de entrega e à confiabilidade, a taxa de melhorias aplicadas a produtos e processos é considerada um critério relevante (HUSSAIN *et al.*, 2015).

A V3 foi submetida à avaliação de especialistas, em um grupo focal, em duas etapas que se apresentam a seguir.

## 4.2 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO

Este capítulo mostra o resultado da avaliação do artefato V3, realizada através de um grupo focal, com quatro participantes. Na primeira parte, é feita a análise das colocações do grupo de especialistas. Após, o artefato passa por mais uma validação prática, que trata da parte do estudo de caso. Nesse momento, passará pela validação de um outro grupo focal da corporação/empresa. Trata-se, portanto, da segunda avaliação do artefato.

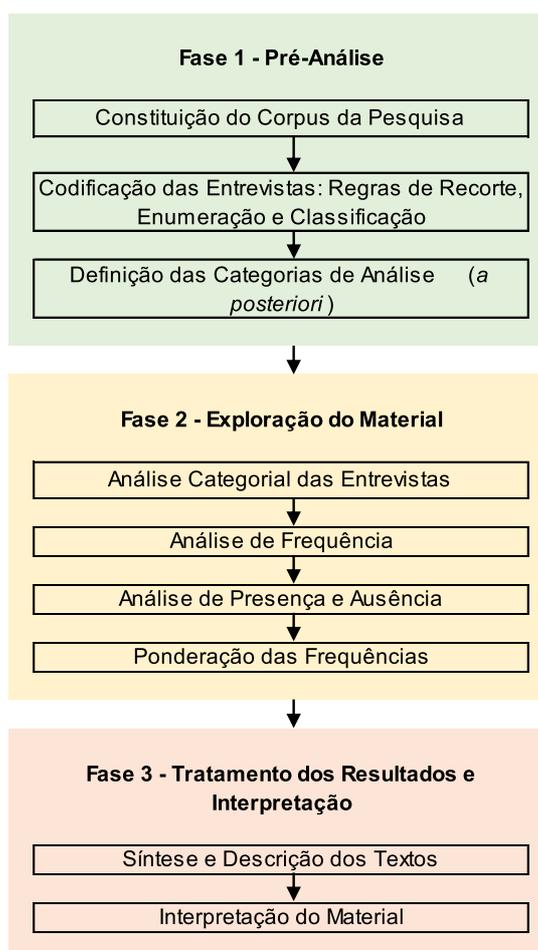
### 4.2.1 Avaliação do Artefato pelo Grupo Focal Especialistas – V3

A V3 do *framework* foi exposta às críticas de quatro especialistas em inovação, I4.0 e competitividade conforme o Quadro 16 (via *Teams* e por meio de entrevista presencial, conforme explanado no capítulo do método). As interações deram origem a quatro documentos (a gravação da reunião via *Teams*, o áudio da reunião presencial

e duas transcrições das reuniões), que foram transferidas para o software Atlas.Ti para facilitar a organização e a análise dos dados.

A exploração das entrevistas seguiu a abordagem de análise de conteúdo proposta por Bardin (2016), de acordo com a Figura 31.

Figura 31 - Fases da Análise de Conteúdo



Fonte: Elaborado pela autora a partir de Bardin (2016)

A **pré-análise (1)** compreendeu a escolha dos documentos a serem submetidos à análise, no caso, as entrevistas transcritas que constituíram o corpus da pesquisa. Nesta etapa, foi feita a codificação das entrevistas, recorte, enumeração e classificação. Na categoria de análise entre os entrevistados, busca-se identificar convergências, divergências e complementaridades de percepções sobre conceitos e processo de desenvolvimento (avaliação) do artefato.

Na **exploração do material (2)**, os trabalhos foram analisados em quatro momentos: análise das categorias das entrevistas, frequência, análise de presença e ausência e ponderação das frequências.

O **tratamento dos resultados e interpretação (3)** foram realizados seguindo as etapas anteriores e iniciando pela codificação, por meio de unidades de registro, ou seja, por uma seleção de palavras e temas significativos para o objetivo. A categorização baseou-se em um processo estruturalista classificatório, contendo exclusão mútua, homogeneidade, pertinência, objetividade, fidelidade e produtividade (BARDIN, 2016).

Os textos dos dois documentos foram codificados e, posteriormente, os códigos foram classificados por temas. Ao todo, foram codificados 43 trechos, e identificadas três categorias de análise, a saber: Convergência, Divergência e Complementaridade. As categorias referem-se aos conceitos (conteúdo) e ao processo de desenvolvimento do artefato. A Tabela 6 mostra o número de citações de cada uma das categorias.

Tabela 6 - Número de Citações de cada Categoria

<b>Classe</b>	<b>Categoria</b>	<b>Nº de Citações</b>
Conceitos (conteúdo)	Convergência	5
	Divergência	4
	Complementaridade	5
	<i>Total</i>	<i>14</i>
Processo de Desenvolvimento	Convergência	14
	Divergência	6
	Complementaridade	10
	<i>Total</i>	<i>30</i>

Fonte: Elaborado pela autora

Os trechos marcados continham (19) convergências, (10) divergências e (15) complementaridades. A partir da análise de todas as categorias, foram definidas ações de avaliação, que geraram um total de cinco ações. A seguir, são apresentadas as análises por categoria, bem como seus desdobramentos.

#### 4.2.1.1 Conceito – Análise das Divergências

De maneira geral, a maior parte das entrevistas analisadas foi convergente quanto às classes definidas. Das 14 citações sobre conceitos, quatro foram consideradas divergências, pois geraram reflexões e ações a serem desenvolvidas. As divergências referentes a conceitos geraram duas ações, como se observa na Tabela 7.

Tabela 7 - Ações Definidas na Categoria de Conceitos - Divergências

<b>Categoria</b>	<b>Ação</b>	<b>Nº de Citações (divergências)</b>
Conceitos (conteúdo)	1. Esclarecer a escolha do grupo de tecnologias do estudo.	2
	2. Avaliar a possibilidade de mudança do título da tese.	2
	<i>Total</i>	4

Fonte: Elaborado pela autora

Cabe mencionar novamente que, das quatro citações dos entrevistados relativas aos conceitos utilizados, foram geradas duas ações. Sendo assim, apresentam-se, a seguir, as melhorias propostas por meio das ações após as sugestões dos especialistas.

### **Ação 1: Esclarecer a escolha do grupo de tecnologias do estudo**

O entrevistado B faz um questionamento referente à escolha do grupo de tecnologias para o estudo.

*[...] Mas porque que tu escolheu esse conjunto de tecnologias pra fazer a tua pesquisa? Baseado em quê? [...]*

O entrevistado A complementa:

*[...] é muito boa essa observação, e eu entendi isso lá no começo quando ela fez uma pesquisa dos artigos e que lá, lembra [...] nos sete artigos, depois dois artigos atendem tais e tais coisas, lembra? [...].*

A pesquisadora reforçou que se buscou na RSL e bibliometria as principais tecnologias habilitadoras, integradoras e aplicadoras conforme OECD (2017). De acordo com o estudo de Klingenberg, Borges e Antunes (2019), foram levantadas na literatura as 111 tecnologias mais frequentes identificadas no corpus, sendo que apenas cinco aparecem com mais frequência, como: CPS, IoT, BD, *Big Data Analytics* e CC. No entanto, também foram consideradas as nove tecnologias chaves de Rübmann *et al.* (2015) que são: robôs autônomos, simulações, integração de sistemas, IoT, Cibersegurança, CC, manufatura aditiva, realidade aumentada e *Big*

*Data*. Sendo assim, os critérios utilizados para selecionar as 15 tecnologias foram por meio da OECD (2017), Rübmann *et al.* (2015), Klingenberg, Borges e Antunes (2019) e da revisão bibliográfica. Ao final, todos concordaram com os critérios utilizados no presente estudo.

## **Ação 2: Avaliar a possibilidade de mudança do título da tese**

O entrevistado E provoca a seguinte discussão:

*[...] da abordagem de concepção de frameworks, então, eu acho, primeiro assim [...], eu penso que o teu título tá... tá meio confuso, é muito grande aquele título e, sinceramente, mais confunde do que esclarece... e outra coisa, se o produto da tua tese é um framework tem que aparecer framework [...] no título da tua tese, entendeu? [...].*

O entrevistado D complementa:

*[...] título do trabalho, não é um método e nem modelo, é um framework. [...].*

A pesquisadora fez a alteração do título do trabalho que era: Método de Priorização de Implantação de Tecnologias da Indústria 4.0 a partir da estratégia de manufatura para geração de valor da firma: estudo em uma corporação plástica em diferentes contextos nacionais; sendo que o título passou a ser: Proposta de um *Framework* para priorização de implantação das tecnologias da Indústria 4.0 a partir da Estratégia de produção para geração de valor da firma.

Após discutir com o orientador e com o coorientador, eles também entenderam que a tese se tratava de um *framework*, sendo que o *framework* foi considerado mais adequado, pois é um conjunto de conceitos usado para resolver um problema de um domínio específico.

### **4.2.1.2 Conceito – Análise das Convergências e Complementaridades**

Houve cinco citações de convergências sobre conteúdo e cinco de complementaridade. Esse cenário gerou algumas confirmações em relação ao que a

tese já havia abordado. Contudo, foram feitos alguns desdobramentos, que são demonstrados na Tabela 8.

Tabela 8 - Desdobramentos Definidos na Categoria de Conceitos – Convergências e Complementaridade

<b>Categoria</b>	<b>Desdobramentos</b>	<b>Nº de Citações (Convergências e complementaridade)</b>
Conceitos (conteúdo)	1. Avaliar a definição de critérios competitivos na tese.	7
	2. Avaliar a inclusão da tecnologia 5G na tese.	3
	Total	10

Fonte: Elaborado pela autora

Cabe reforçar que, das 10 citações dos entrevistados relativas aos conceitos utilizados, foram gerados dois desdobramentos. Sendo assim, apresentam-se, a seguir, os desdobramentos propostos após contribuições dos especialistas.

### **Desdobramento 1: Avaliar a definição de critérios competitivos na tese**

O entrevistado B traz uma reflexão sobre a questão dos critérios competitivos, do modelo de *trade-off* de Skinner, do modelo de *Sand-cone* que é de Ferdows e De Meyer (1990) e diz:

*[...] Na verdade esses critérios competitivos eles são cumulativos, eles não têm trade-offs entre eles, um ajuda a desenvolver o outro. Essa é a ideia do poder de Cone [...] um modelo do trade-off do Skinner ele tá olhando a dimensão, a perspectiva dos clientes, então esses critérios competitivos, esses trade-offs aqui quem determina é o mercado [...].*

O entrevistado D faz sua ponderação quanto a critérios competitivos e complementa:

*[...] O negócio do Skinner é a estratégia de produção, estratégia de operações, não é estratégia de manufatura [...].*

O conceito utilizado nesta tese foi o de Skinner (1974), segundo o qual os critérios competitivos são os fatores avaliados pelos clientes quando da decisão de compra. Desse modo, cada um desses fatores influencia para a decisão, possuindo uma relevância diferente na decisão do consumidor.

Seguindo a lógica da estratégia de produção de Skinner nesta tese, Skinner (1974) propõe que a atividade produtiva deve contribuir para a competitividade da empresa como um todo a partir da busca do foco. Este foco estaria no conceito de “fábricas focalizadas” que buscaria a especialização de seus recursos para entender as características demandadas pelo mercado.

Quanto à reflexão do *Sand-cone* de Ferdows e De Meyer (1990), esse tema também é discutido no referencial teórico de critérios competitivos, na parte prática da validação do artefato e no estudo de caso. Cabe explicar que o entrevistado pode incluir mais critérios competitivos, conforme seu entendimento e negócio. Posto isso, entende-se que esta tese abordou os temas trazidos pelos entrevistados de forma que abriu espaço tanto na validação do artefato como nas entrevistas, já que os entrevistados tiveram espaço para abordar as teorias citadas e se posicionar em relação a mais adequada para a sua unidade de negócio.

## **Desdobramento 2: Avaliar a inclusão da tecnologia 5G na tese**

O entrevistado B traz uma reflexão quanto à inclusão da tecnologia 5G na presente tese.

*[...] a Indústria 4.0 tem uma porção de tecnologias, e aí uma que eu não sei se me passei, não vi na tua dissertação, é o 5G [...], o 5G tu tem que colocar porque ele tá chegando aí, aliás já chegou, já tem alguns testes acontecendo em alguns lugares. Qual é a grande vantagem do 5G? Ele vai permitir que o monitoramento tempo real das coisas seja feito de uma forma muito rápida, com sensores etc. [...]*

A pesquisadora reforçou que se buscou na RSL e bibliometria as principais tecnologias habilitadoras, integradoras e aplicadoras conforme OECD (2017). De acordo com o estudo de Klingenberg, Borges e Antunes (2019), foram levantadas na literatura as 111 tecnologias mais frequentes identificadas no corpus, sendo que apenas cinco aparecem com mais frequência, como: CPS, IoT, BD, *Big Data Analytics* e CC. Porém também considerou-se as nove tecnologias chaves de

Rübmann et al. (2015) que são: robôs autônomos, simulações, integração de sistemas, IoT, Cibersegurança, CC, manufatura aditiva, realidade aumentada e *Big Data*. Esses foram os critérios para identificar as 15 tecnologias selecionadas para o estudo.

Outro momento em que se teve a oportunidade de incluir mais tecnologias foi quando foi enviada a entrevista aos especialistas. Entretanto, os 63 respondentes não incluírem nenhuma outra tecnologia.

Ao avaliar junto à coorientação devido à pesquisa ter sido definida com esses critérios e toda a parte do estudo de caso já ter sido enviada à corporação em estudo, optou-se por não incluir a tecnologia 5G nesta versão na tese devido ao prazo exíguo.

#### 4.2.1.3 Processo de Desenvolvimento – Análise das Divergências

De maneira geral, a maior parte das categorias analisadas quanto ao processo de desenvolvimento do artefato foi convergente quanto às classes definidas. Das 30 citações sobre o processo de desenvolvimento do artefato, seis se consideraram divergências, pois geraram reflexões e ações a serem desenvolvidas. As divergências referentes ao artefato geraram três ações, como mostra a Tabela 9.

Tabela 9 - Ações Definidas na Categoria de Desenvolvimento do Artefato - Divergências

<b>Categoria</b>	<b>Ação</b>	<b>Nº de Citações (divergências)</b>
Desenvolvimento do Artefato	1. Validar o artefato de forma prática.	3
	2. Conectar tecnologias com os critérios competitivos.	2
	3. Avaliar se é um modelo ou um <i>framework</i> (parte prática).	1
<i>Total</i>		6

Fonte: Elaborado pela autora

Vale reiterar que, das seis citações dos entrevistados relativas ao desenvolvimento do artefato, foram geradas três ações. Sendo assim, apresentam-se, a seguir, as ações propostas após as considerações dos especialistas.

#### **Ação 1: Validar o artefato de forma prática**

O entrevistado B faz uma explanação sugerindo que a pesquisadora teste o *framework* da pesquisa.

*[...] mas é assim grandes linhas do que eu faria, era justamente testar [...] e a partir da dimensão competitiva que o mercado tá pedindo, desenvolver essas tecnologias em primeiro lugar, priorizar, que é a tua ideia de priorização das tecnologias eu acho que quem vai puxar essa priorização é a dimensão competitiva principal, não necessariamente é uma só, mas vai ser uma ou duas [...].*

O entrevistado A faz a seguinte pergunta na sequência da explanação do entrevistado B.

*[...] E o que isso tem a ver com a Ensinger? Nada. Entende? Até aqui, nada, [...] porque eu ainda não tenho esse cruzamento que o entrevistado B estava dizendo [...].*

O entrevistado C complementa:

*[...] tu testou esse framework? É a primeira pergunta que vão te fazer. Então aí tu tem que ter, e eu concordo com o entrevistado A, uma segunda etapa confirmatória – que é depois que o framework tiver pronto – tu aplicar, para refinar esse framework, entendeu? [...].*

O entrevistado B complementa com mais um comentário sobre a avaliação do artefato sugerindo avaliar as unidades de negócios.

*[...] Tem um detalhe importante [...] que tem que levar em conta também, tu não pode analisar só os países, porque, o que eu fiz também foi uma outra coisa, além de olhar a empresa, eu olhei as unidades de negócio dentro da empresa [...].*

O entrevistado D contribui com mais um questionamento sobre a empresa/corporação.

*[...] Tu tem uma grande corporação, quantas empresas... qual é o faturamento da corporação e qual lugar do mundo tá a corporação? [...] Aí tu definiu que que é corporação? [...] Isso é uma outra coisa importante. Uma corporação ela é constituída de várias unidades, uma corporação não é uma empresa [...].*

A etapa da pesquisa da qual os entrevistados participaram foi a Fase 7 do método de trabalho, conforme a DSR. Ela se chama Avaliação do Artefato e é dividida em dois momentos: a) avaliação especializada (que são os próprios entrevistados, que são o grupo focal (o grupo de especialistas das áreas de inovação, competitividade e I4.0); e b) validação prática (estudo de caso em uma indústria de plásticos de alta performance), definiu-se que o estudo seria no Brasil, nos Estados Unidos e na Alemanha. Naquele momento da entrevista, ainda não havia sido feito o estudo de caso, visto que a pesquisa estava na fase da validação do artefato com especialistas (FASE 7.1 do método de trabalho da DSR), para posterior alteração e envio à empresa do estudo de caso (FASE 7.2 do método de trabalho da DSR).

Sendo assim, foi esclarecido que o próximo passo da pesquisa seria aplicar uma entrevista nas três unidades da empresa/corporação e validar o *framework*.

Quanto às unidades de negócios, após sugestões dos entrevistados, foram incluídos no referencial teórico, capítulo 2.3 Estratégia de Produção, os níveis estratégicos da empresa: estratégia corporativa, estratégia de negócio e estratégia funcional conforme os autores Paiva, Carvalho Jr. e Fensterseifer (2009), e na análise de dados foi definido que o estudo de caso seria realizado nas UENs-SHAPES devido ao fato de que as três empresas, objeto do estudo, possuem este negócio. Dessa forma, será possível a comparabilidade.

O entrevistado D sugeriu que fosse incluído o conceito de corporação na tese. Então, o capítulo 3.3 Coleta de Dados foi inserido, sendo apresentado à empresa/corporação em que será feito o estudo de caso. Outrossim, definiu-se o conceito de corporação conforme os autores Paiva, Carvalho Jr. e Fensterseifer (2009). Para complementar, foi incluído, na seção 4.2.1 Avaliação do Artefato – Estudo de caso, o organograma parcial da Ensinger Holding GmbH & Co. KG, com as corporações objeto deste estudo.

## **Ação 2: Conectar tecnologias com os critérios competitivos**

O entrevistado B faz uma reflexão de uma pesquisa semelhante em relação à presente tese. Contudo, o estudo se refere a um modelo flexível de gestão estratégica da produção, técnicas, capacitações, dimensões competitivas e resultados globais da empresa.

*[...] da lógica do BSC, ou seja, um modelo do trade-off do Skinner ele tá olhando a dimensão, a perspectiva dos clientes, então esses critérios competitivos, esses trade-offs aqui quem determina é o mercado, é o cliente, e aí em função disso, eu tenho que desenvolver essas capacitações na minha lógica dos processos [...], ou seja, essas capacitações aqui elas vão desenvolver resultados de redução de custos, de aumento da quantidade vendida, do custo do valor do preço de vendas, do custo da matéria-prima etc. e de maneira a resolver a melhoria do resultado operacional, essa é a lógica da conexão dessa coisa toda com o BSC, [...] aonde isso nos leva? Nos leva o seguinte, que não existe trade-off nem existe uma lógica, uma sequência única de implantação dessas ferramentas de eficiência operacional [...].*

*[...] Vou começar pelo Big Data, vou começar pelo IoT, [...] eu acho que a grande sacada aí do teu trabalho é fazer mais ou menos isso que eu fiz, é conectar tecnologias com critérios competitivos [...].*

*[...] Por exemplo, hoje tá se falando muito aí na robotização de operações, o tal do RPA (Robotic Process Automation), esse negócio é bom, [...] é bom em certos sentidos, nem sempre é bom [...] é a mesma lógica, o que que eu digo, assim, o mecanismo da função da produção do Shingo, [...], que tua função processo com a tua operação, então tenho ferramentas de TI que melhoram a função processo, que são os BPMS da vida, o workflow, tudo mais, em algum ponto eu tenho uma operação onde colocar um robô realmente faz sentido, [...] o robô pode fazer isso a qualquer momento, entendeu, ele pode diminuir o lead time desse processo por conta de uma antecipação desse negócio [...].*

*[...] aí é da tua área também [...] consultar o saldo bancário das contas correntes para atualizar o sistema, para poder liberar a tesouraria, o fluxo de pagamento etc., e aí isso também tem que esperar às 08h da manhã, chega um funcionário, se loga no sistema, consulta banco por banco etc., imagina quantas contas a empresa tem, não sei, mas são muitas... e aí atualiza o saldo das contas bancárias no ERP: um robô é uma solução fantástica para isso. [...].*

O entrevistado D complementa com o seguinte comentário:

[...] Quanto ao que o entrevistado B falou, talvez não dê pra fazer mais, tu já defendeu tua qualificação? [...] Então já era! [...].

O entrevistado B sugeriu que fosse feita a conexão entre a tecnologia da I4.0 e o critério competitivo, mas, ao avaliar junto à orientação e coorientação, devido já ter sido feita a qualificação e ao tempo para o término deste estudo ser exíguo, será sugerido para trabalhos futuros.

### **Ação 3: Avaliar se é um modelo ou um *framework* (parte prática)**

O entrevistado D contribui comentando que no ponto de vista dele o estudo não era um modelo de priorização e sim um *framework*.

[...] Esse estudo não é um método e nem um modelo, está claro que é um *framework*.

A sugestão foi discutida, aceita e a alteração realizada.

Métodos é um conjunto de passos necessários para desempenhar determinada tarefa, modelos é um conjunto de proposições ou declarações que expressam as relações entre os constructos (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015).

*Framework* ou arcabouço conceitual é um conjunto de conceitos usado para resolver um problema de um domínio específico.

#### 4.2.1.4 Processo de Desenvolvimento – Análise das Convergências e Complementaridades

Houve 14 citações de convergências sobre conteúdo e 10 de complementaridade, que gerou algumas confirmações do que a tese já havia abordado, porém foram feitos alguns desdobramentos. Tais aspectos são demonstrados na Tabela 10.

Tabela 10 - Desdobramentos Definidos na Categoria de Processo de Desenvolvimento – Convergências e Complementaridade

Categoria	Desdobramentos	Nº de Citações (divergências)
Desenvolvimento do Artefato	1. Validar qual é a ordem de priorização das tecnologias da I4.0.	14
	2. Validar a ordem da priorização das tecnologias (habilitadoras, integradoras e aplicação).	1
	3. Verificar a UEN em que o estudo será aplicado.	9
	<i>Total</i>	24

Fonte: Elaborado pela autora

Das 24 citações dos entrevistados relativas ao processo de desenvolvimento do artefato, foram gerados três desdobramentos. Sendo assim, apresentam-se, a seguir, os desdobramentos propostos após contribuições dos especialistas.

#### **Desdobramento 1: Validar qual a ordem de priorização das tecnologias da I4.0**

O entrevistado A pontua quanto à validação da ordem da priorização das tecnologias da I4.0, caso não ocorram como o meu *framework*, caso não seja validado positivamente.

*[...] Pode haver inconsistências numa dimensão e que talvez tenha que se levar em conta alguma outra variável ou alguma outra consideração que o modelo não abraçou, não alcançou [...] tem uma fase 3. Essa fase 3 talvez seja o estudo de caso, talvez seja uma coisa nesse sentido, como o entrevistado C também bem colocou utilizando a lógica que o entrevistado B disse, pode ser que dentro da unidade eu tenha. [...] essa unidade aqui vai fazer por custo [...] essa outra vai fazer por flexibilidade [...] aproveitando os ativos imobilizados pra atender [...] uma economia de escopo não de escala. Então essas variantes elas precisam ser tratadas como o entrevistado B tratou antes [...] de modo que, a interpor depois você consegue dizer: esse modelo tem um feat [...] e o ajuste melhor quando à dimensão é [...] custo, por exemplo, mas não funciona bem, que é o que o entrevistado C diz, não tem problema. Isso, mas essa eu acho que é a sacada bacana [...].*

O entrevistado B complementa:

*[...] E aí tem uma coisa que o entrevistado A falou que é muito importante [...] se não fecha com o teu modelo, onde é que tá o problema? O problema tá no teu modelo ou na aplicação da tecnologia? Aí isso também tu vai ter que é [...] trazer como análise no final pra [...] pra tu dizer: Não, o meu modelo é bom ou meu modelo não é bom. [...].*

O entrevistado C finaliza com a seguinte explicação:

*[...] Mas, mas falar que não é bom Entrevistado B não tem problema [...]. também é uma tese também tem isso. [...] A gente lá no início não sabe se as coisas vão dar certo, do jeito que a gente tinha pensado e tal, mas dizer que não deu certo também contribui pro conhecimento da área, porque os próximos que virão eles já não vão por esse caminho [...].*

Quanto às explicações dos entrevistados, observou-se que neste momento da pesquisa não havia tempo suficiente para fazer mudanças no método de trabalho já definido, ou seja, desenhar um modelo flexível. Na Fase 9 do método de trabalho, apresentam-se sugestões de trabalhos futuros com os devidos ajustes identificados nesta pesquisa. Nessa fase, serão apresentadas as limitações encontradas nos resultados desta pesquisa e alguns pontos que possam ser estudados em pesquisas futuras.

### **Desdobramento 2: Validar a ordem de priorização das tecnologias (habilitadoras, integradoras e aplicação)**

O entrevistado D faz uma explicação quando analisa a V3 do artefato:

*[...] Os especialistas não consideraram nada .... se era habilitadora.... aplicadora... na verdade o cara que o robô e ele coloca o robô na fábrica, depois ele vê o que mais ele precisa para colocar a funcionar [...].*

Foi explicado que, na entrevista enviada aos especialistas, a tecnologia foi identificada ao lado com a devida classificação: habilitadora, integradora e aplicadora, conforme OECD (2017), e que o *framework* ainda teria mais uma etapa de validação prática. O entrevistado D não pontuou a ordem das tecnologias como um problema no *framework*.

### **Desdobramento 3: Verificar a UEN em que o estudo será aplicado**

O entrevistado B faz uma explanação sobre a aplicação do *framework*.

*[...] Então, nessa aplicação, nisso que o entrevistado C chamou aí de fase 3 do teu trabalho, se tu for olhar a empresa onde tu trabalha, tu vai ter que ter em mente que talvez ela tenha características diferentes em negócios diferentes. [...].*

*[...] Então na tua aplicação tu vai ter que levar isso em conta, [...] em função da dimensão competitiva da minha unidade de negócio [...].*

*[...] É que são duas dimensões competitivas completamente diferentes. Agora, uma montadora que é prazo, que é cumprimento de prazo; e um mercado de reposição que é preço... Então lá dentro da fábrica, eles tinham duas estruturas de produção completamente diferentes, um estilo Taylorista, Fordista, de altos volumes; e outra estilo tem uma troca de produção com células dedicadas a cada cliente no mercado de montadoras [...] Então, dentro da mesma estrutura, dentro da mesma unidade de negócio, tinha [...] ferramentas. Percebe que a ferramenta de eficiência operacional pra produção é em célula é diferente da ferramenta pra produção de [...] em grandes volumes? É completamente [...] uma é linha de produção outra é célula. [...], dedicada etc. [...].*

Quanto às unidades de negócios, conforme já explicado anteriormente nas ações de desenvolvimento do artefato, após sugestões dos entrevistados, foi incluído no referencial teórico o capítulo 2.3 Estratégia de Produção, que aborda os níveis estratégicos da empresa: estratégia corporativa, estratégia de negócio e estratégia funcional conforme os autores Paiva, Carvalho Jr. e Fensterseifer (2009). Outrossim, na análise de dados, foi definido que o estudo de caso seria realizado nas UENs -

SHAPES devido as três empresas objeto deste estudo possuírem este negócio. Dessa forma, possibilita-se a comparabilidade.

#### **4.2.2 Avaliação do Artefato – Estudo de Caso - V3**

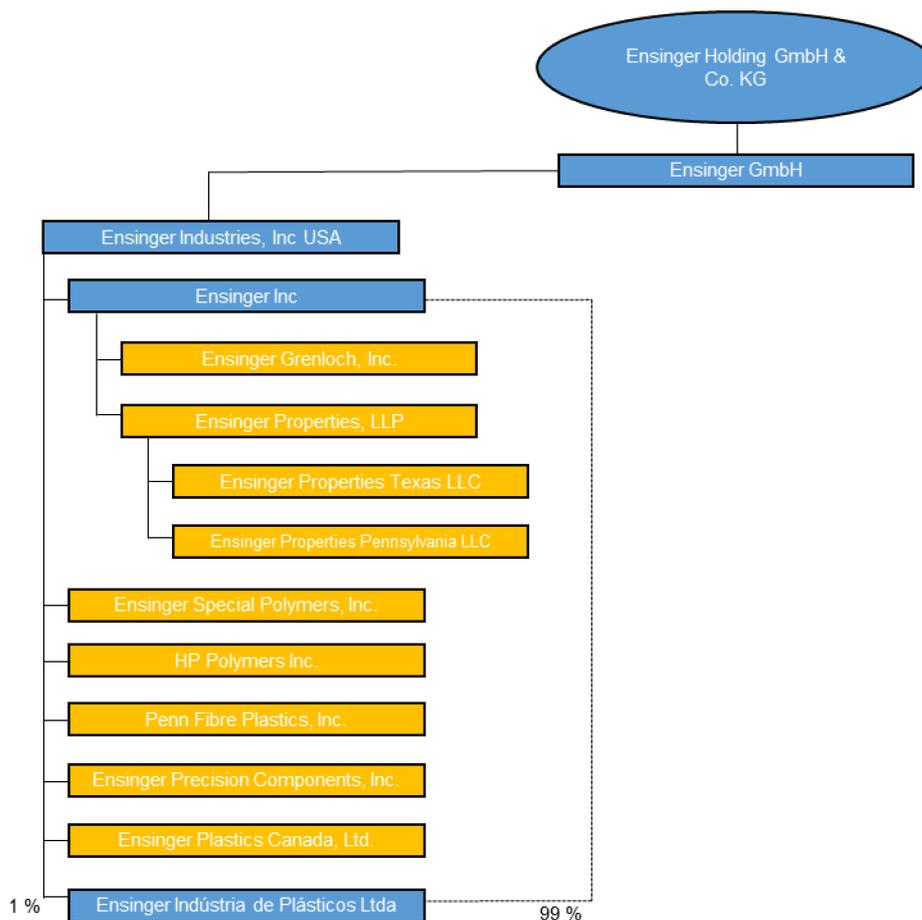
Em busca de evidências empíricas para a validação prática do artefato, o estudo de caso se refere à fase 7.2 da etapa do método de trabalho conforme a *DSR*, com o grupo focal de especialistas em inovação e gestão de cada UEN - Shapes. Foram entrevistados três profissionais no Brasil, um nos Estados Unidos e um na Alemanha.

O estudo foi feito em uma corporação do ramo da indústria plástica, sendo que corporação é um modo de se referir a grandes empresas ou ainda a organizações e podem ser consideradas a principal forma desenvolvida no capitalismo industrial para condução de negócios e é, portanto, uma instituição social central (PAIVA; CARVALHO JR.; FENSTERSEIFER, 2009).

#### **Visão Geral do Grupo Ensinger**

A  *Holding Ensinger Holding GmbH e Co. KG* situada na Alemanha é a controladora das empresas Ensinger, tendo como responsabilidade a definição do planejamento estratégico do conglomerado. O organograma da Figura 32 apresenta somente parte do organograma, ou seja, contempla apenas a controladora e as controladas pelas empresas das américas, visto que a matriz não autoriza a publicação de seus dados completos.

Figura 32 - Organograma Parcial – Ensinger Holding GmbH &amp; Co. KG



Fonte: Adaptado pela autora de acordo com Manual EY (2015)

O estudo foi feito conforme descrito no capítulo 3.4 Análise dos Dados e nas UENs - SHAPES, devido as três unidades de negócios atenderem a esse segmento e por haver comparabilidade. As UENs foram: Ensinger Indústria de Plásticos Ltda, nominada, neste estudo, Ensinger Brasil, Ensinger Inc, nominada como Ensinger Estados Unidos e Ensinger GmbH nominada como Ensinger Alemanha.

O Grupo Ensinger está empenhado no desenvolvimento e na fabricação de compostos, produtos semiacabados, peças técnicas, perfis feitos de engenharia e plásticos de alta performance. A empresa familiar está representada nas principais regiões industriais com instalações de fábricas ou escritórios de vendas. O escritório principal está localizado em Nufringen/Baden-Württemberg, na Alemanha.

A empresa foi fundada em 1966 por Wilfried Ensinger. As primeiras áreas de enfoque incluíram a fabricação e venda de plásticos termoplásticos de engenharia. Estreitamente ligada a essa tecnologia, a empresa trabalhou no desenvolvimento futuro do processo de extrusão e tecnologia de aplicação. Pouco tempo após a

transferência da sede para Nufringen, a Ensinger iniciou a produção de componentes fabricados por usinagem de produtos semiacabados. Em 1977, a empresa enviou os seus primeiros perfis de isolamento térmico produzidos em volume de poliamida 6.6 reforçada com fibra de vidro para fabricantes de janelas de alumínio. Uma segunda fábrica foi erguida em 1980 em Cham/Baviera. Após o lançamento de outras linhas de produtos, a Ensinger fundou uma série de filiais adicionais na Europa, América do Norte, América do Sul e Ásia. Desde 2007, a empresa tem estado na China com as suas próprias instalações de produção.

Após a avaliação do artefato pelo grupo focal de especialistas, etapa 7.1 do método de trabalho conforme a *DSR*, momento em que foi feita a análise de conteúdo, ações e desdobramentos, a próxima fase é a 7.2 validação prática por parte da corporação selecionada, que será apresentada por país e, após, será feito um comparativo.

Para a fase 7.2, foi elaborado o Apêndice G – Protocolo de Estudo de Caso que teve como objetivo suportar a pesquisa qualitativa deste estudo, parte da validação prática do *framework*. A validação do instrumento de coleta de dados da entrevista, de acordo com o Apêndice G, foi realizada por um pesquisador qualificado conforme Quadro 20.

Quadro 20 - Relação de Pesquisador/Especialista

<b>Pesquisador/ Especialista</b>	<b>Formação</b>	<b>Instituição/Formação</b>	<b>Instituição vinculado</b>
Especialista 1	Doutor em Engenharia de Produção	UNISINOS – SÃO LEOPOLDO	UNISINOS – SÃO LEOPOLDO

Fonte: Elaborado pela autora

Após análise das propostas de alterações e concordância do pesquisador/especialista sobre pontos a alterar, o documento de proposta de estudo de caso foi modificado para posterior envio aos entrevistados. Tendo realizado a validação da entrevista pelo pesquisador/especialista, o documento foi considerado aprovado. O protocolo de estudo foi feito no idioma inglês e português, mas no estudo será anexada a versão em português.

A entrevista foi realizada via *Teams*/e-mail. Os entrevistados da Ensinger Brasil foram contatados via *Teams*. Eles enviaram suas respostas após o término da entrevista por e-mail; já os entrevistados da Ensinger Estados Unidos e Alemanha responderam por e-mail. A seguir, apresentam-se as respostas das entrevistas por país.

#### 4.2.2.1 Estudo de Caso – Ensinger Brasil

A unidade de São Leopoldo, RS, Ensinger Brasil, foi fundada em 1996 como escritório de vendas e estoque local, expandindo para unidade fabril em 1998, responsável pelo atendimento de todo mercado da América do Sul. Atua em duas divisões principais de negócios, focadas no desenvolvimento, fabricação e comercialização de semiacabados, aqui denominados *Shapes* (barras, chapas e tubos) e peças técnicas injetadas (divisão de *Injection Molding*).

A divisão de *Shapes* também comporta uma subdivisão de peças técnicas usinadas fabricadas com base na produção local de perfis termoplásticos que explora principalmente os materiais do portfólio Ensinger fabricados no Brasil – poliamidas extrudadas e fundidas (família TECAMID), poliacetal (família TECAFORM), poliolefinas (famílias TECAFINE PP e PEAD) e alguns materiais de alta performance, como PVDF (família TECAFLON PVDF).

A Ensinger Brasil é uma das empresas líderes do mercado brasileiro em relação a processamento de plásticos de engenharia e alta performance, com um mix de materiais que comporta mais de 100 tipos de plásticos, entre naturais, aditivados, carregados e algumas versões coloridas.

As divisões de *Injection Molding* e *Machined Parts* têm nos clientes finais (pequenas, médias e grandes empresas do segmento industrial) seu principal mercado. Enquanto a indústria automotiva responde por mais de 90% do faturamento da Injeção, concentrado em não mais de três a quatro clientes localizados no estado de São Paulo, o segmento agrícola e de guindastes, localizado no RS, é hoje o principal alavancador da divisão de *Machined Parts*.

Em relação ao roteiro de entrevista, conforme o Apêndice G, iniciou-se apresentando uma introdução; em seguida, trouxe o *framework* teórico com uma explanação do contexto tecnológico; e, na sequência, a dimensão competitiva da estratégica de produção, dimensão de contexto e o problema de pesquisa. Foi apresentado um quadro com os conceitos e critérios competitivos, no qual se buscou que o entrevistado, antes da entrevista, tivesse uma visão clara do contexto da pesquisa.

### Roteiro A: Critérios Competitivos

Na primeira questão, foi questionado qual era o critério competitivo da unidade de negócios de *Shapes*. Os entrevistados responderam:

*[...] custo o principal, e desempenho de entrega (o secundário).*

### Roteiro B: Indústria 4.0

Em relação à maturidade da implantação das tecnologias da I4.0, seguem as respostas no Quadro 21.

Quadro 21 - Maturidade da Implantação das Tecnologias da I4.0 – Brasil

Desempenho/ Maturidade de Implantação	Baixa									Alta
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Fábricas Inteligentes		x								
Impressão 3D	x									
Manufatura Aditiva	x									
Robôs	x									
<i>Big Data</i>	x									
Computação em Nuvem		x								
Integração e Sistemas		x								
IoT		x								
Cibersegurança		x								
CPS	x									
Inteligência Artificial	x									
Realidade Aumentada	x									
RFID	x									
Simulação	x									
Veículos Autônomos (Drones)	x									

Fonte: Elaborado pela autora

### **Roteiro C: Validação do Artefato – V3**

Após apresentar a metodologia e a V3 do *framework* de priorização de tecnologias da I4.0, questionou-se se este era condizente para nortear as decisões estratégicas ou de investimentos da Unidade de negócios em questão.

*[...] Relembrando nossos critérios de competitividade: custos (principal) e desempenho de entrega (secundário), seguem nossos comentários:*

*Em CUSTOS, consideramos as tecnologias apresentadas condizentes, mas não consideraríamos Veículos Autônomos em 1º lugar no ranking; as tecnologias relacionadas a Fábricas Inteligentes, Robôs, IA, CPS, Simulação, IoT e Realidade Aumentada certamente estariam entre nossas principais escolhas para a Unidade de Negócios (UN) de Shapes da Ensinger Brasil.*

*DESEMPENHO DE ENTREGA: Pensando na UN de Shapes, nosso ranking seria diferente: nas primeiras cinco posições nós destacaríamos Integração e Sistemas, IoT, Inteligência Artificial, Robôs e Cibersegurança (não necessariamente nesta ordem). Apesar de entendermos o benefício da Tecnologia Aplicadora de Manufatura Aditiva para o critério competitivo de Desempenho de Entrega (1º lugar no ranking), pensando num contexto industrial amplo, a mesma não apresenta um potencial tão alto ao processo produtivo de Shapes, por questões limitantes de produto e portfólio.*

A segunda questão quanto à validação do artefato foi feita da seguinte forma: ao observar o *framework* critério a critério, a priorização das tecnologias por critério competitivo é condizente com a realidade da organização?

*[...] Em parte. Vide nossos comentários já apresentados na questão anterior, para CUSTOS e DESEMPENHO DE ENTREGA, somados às seguintes observações para demais critérios:*

*VELOCIDADE: consideramos a priorização ranking OK.*

*FLEXIBILIDADE: A tecnologia aplicadora de Manufatura Aditiva teria muitos benefícios para as unidades de negócio focadas em peças técnicas, como as Unidades de Negócio de Injection Molding (Injeção) e Machined Parts*

*(Peças Usinadas), onde o design do produto é determinado pelo cliente ou até em muitos casos, cocriado e desenvolvido em conjunto com a empresa. Pensando em Shapes, nossas primeiras posições englobariam as tecnologias de Fábricas Inteligentes, Realidade Aumentada, Robôs, IA, IoT e Integração e Sistemas, não necessariamente nesta ordem. A tecnologia integradora de Cibersegurança subiria algumas posições no nosso ranking. QUALIDADE: Realidade Aumentada e Inteligência Artificial subiriam algumas posições em nosso ranking de priorizações, pois vemos estas tecnologias como extremamente agregadoras para o critério competitivo de Qualidade em Shapes.*

*SUSTENTABILIDADE: ao avaliar a priorização apresentada, refletimos sobre como as novas tecnologias poderiam contribuir em questões sociais, trazendo uma melhor qualidade de vida a nossa mão-de-obra da UN de Shapes, na substituição de trabalhos pesados e muitas vezes exaustivos, se combinados a questões de conforto climático, jornada de trabalho e atividades. Pensando neste aspecto, as tecnologias relacionadas a Fábricas Inteligentes, Robôs e RFID seriam priorizadas para nós. Observamos os benefícios da tecnologia integradora de Veículos Autônomos, Fábricas Inteligentes e CPS no reforço do critério de Sustentabilidade sob a ótica de governança ambiental; a tecnologia de Veículos Autônomos, no entanto, nos parece ter um maior potencial de aplicação nas unidades de negócio relacionadas a peças técnicas (e não Shapes).*

*INOVAÇÃO: Discutimos este critério competitivo muito focados em resultados. “Inovação é transformar novas ideias (novas para o mercado) em resultados, que podem ser econômicos, financeiros sociais e/ou ambientais para o “Inovador” (BOEIRA, 2018). Sob esta ótica, as tecnologias relacionadas à IA, Robôs, CPS (Cyber Physical Systems), Fábricas Inteligentes, Realidade Aumentada, Simulação e Big Data estariam no topo das nossas priorizações.*

A terceira questão era sobre considerar o *framework* apresentado para nortear a tomada de decisão em investimentos na I4.0 na unidade de negócios pesquisada e se isso fazia sentido.

*[...] Sim, com as considerações já pontuadas na resposta do roteiro C, primeira questão.*

A quarta questão era se a empresa usaria este *framework* para discussões para nortear seus planos de investimentos em I4.0 e em uma futura tomada de decisões dentro da sua unidade de negócios.

*[...] Sim, com as considerações já pontuadas na resposta roteiro C, primeira questão.*

A última questão indagava se o entrevistado tinha alguma consideração sobre a pesquisa e/ou *framework* a acrescentar.

*[...] Ahamos a pesquisa inovadora e atual. Sem sombra de dúvidas nos motivou a ampliar conhecimentos sobre as tecnologias da I4.0 e exercitar nosso pensamento crítico e estratégico como gestores de negócio em assuntos relevantes ao cenário global contemporâneo. [...] Pensando no público de executivos e especialistas brasileiros inseridos no panorama industrial nacional, achamos interessante o desdobramento e aplicação da pesquisa a diferentes segmentos industriais, de forma a possibilitar outras análises e avaliações e enriquecer o potencial de construção e customização do framework. Além de explorar a dimensão do contexto sob aspectos geográficos, a exploração do contexto de diferentes segmentos de manufatura, podem trazer resultados interessantes e propiciar o desenvolvimento de novas pesquisas. [...] Num movimento corporativo interno, a construção do framework para as outras unidades de negócio do Grupo Ensinger seria um belo exercício de avaliação dos respectivos modelos de negócios sob a ótica estratégica dos investimentos e crescimento das unidades. Pensamos que as unidades de Injection Molding (Injeção) e Machined Parts (Peças Usinadas), por uma série de características relacionadas ao negócio e mercado onde se inserem, teriam uma aderência ao framework elaborado em um espaço de tempo menor do que a unidade de Shapes. [...] Ainda sob o viés corporativo e de aplicação no Grupo Ensinger, concordamos com a autora na proposta de construção e avaliação do framework da mesma unidade de negócio (Shapes) em diferentes*

*dimensões de contexto, no caso geográfico: as unidades do Grupo na Alemanha (Matriz), Estados Unidos e Brasil. [...] Acreditamos que, se compartilhado e bem explorado pelos respectivos grupos diretivos do Grupo Ensinger, o resultado desta pesquisa será extremamente rico e contributivo na construção de um melhor entendimento das características e do potencial estratégico de cada unidade frente a I4.0, e na otimização dos resultados em cada contexto e situação.*

Cabe destacar que, na avaliação do caso desta UEN, constatou-se no decorrer da entrevista que não estava claro para os respondentes qual era o critério competitivo da sua UEN – *Shapes*. Além disso, eles não convergiam num primeiro momento com o mesmo critério. Após fazerem uma breve discussão, entraram em consenso quando optaram por custos e desempenho de entrega.

Outro ponto relevante era o conhecimento das tecnologias, para responder quanto à maturidade das tecnologias na UEN. Foram necessários, então, a interrupção da pesquisa e o esclarecimento sobre algumas tecnologias, pois os respondentes não tinham clareza das características das tecnologias ou para que elas eram usadas.

Além disso, como esta unidade também tem a unidade de *Injection Molding (Injeção)* e *Machined Parts (Peças Usinadas)* os respondentes durante a entrevista ficavam desfocados em responder somente dos negócios da UEN-*Shapes* e ficavam comparando com as demais UENs e isso pode ter prejudicado sua análise. Essa observação é feita devido os respondentes terem sinalizado que a manufatura aditiva não era adequada à UEN - *Shapes*, sendo que na UEN - *Shapes* Estados Unidos já estão no processo de implantação.

Importante destacar que esta UEN é a que tem a menor maturidade tecnológica, pois iniciou a implantação de duas das tecnologias habilitadoras trazidas pelo *framework V3* (Computação em Nuvem, IoT), seguidas pelas tecnologias integradoras (Integração de Sistemas, Cibersegurança) e não iniciou a implantação de nenhuma das tecnologias aplicadoras (Fábricas Inteligentes, Impressão 3D, Manufatura Aditiva, Robôs). Esses pontos demonstram que o estudo de caso prático também valida a convergência de tecnologias trazidas no *framework* teórico conforme a OCDE.

#### 4.2.2.2 Estudo de Caso – Ensinger Estados Unidos

Na América do Norte, a Ensinger Industries compreende cinco unidades do Grupo Ensinger, todas localizadas nos Estados Unidos da América (EUA), com atuação na divisão de *Shapes*, *Industrial Profiles* e *Injection Molding* e uma base de materiais muito rica em plásticos de alta performance, mas também plásticos de engenharia e *standard*. São elas: Ensinger Inc.; *Penn Fibre*; Ensinger *Special Polymers*, Ensinger Precision Components (IM) e Ensinger Grenloch. Os canais de vendas da divisão de *Shapes* nos EUA limitam-se principalmente à distribuição, sendo a venda para clientes finais uma característica própria da divisão de injeção.

Em relação ao roteiro de entrevista, ele foi dividido em critérios competitivos, I4.0 e validação do artefato.

##### **Roteiro A: Critérios Competitivos**

Na primeira questão, foi questionado qual era o critério competitivo da unidade de negócios de *Shapes*. A essa pergunta, o entrevistado respondeu:

*[...] Os critérios competitivos são disponibilidade (desempenho de entrega), qualidade, preço (custos), abrangência da linha de produtos, suporte técnico, suporte/educação de marketing, flexibilidade e reconhecimento da empresa/nome comercial.*

##### **Roteiro B: Indústria 4.0**

Em relação à maturidade da implantação das tecnologias da I4.0, seguem as respostas no Quadro 22.

Quadro 22 - Maturidade da Implantação das Tecnologias da I4.0 – Estados Unidos

Desempenho/ Maturidade de Implantação	Baixa <span style="float: right;">Alta</span>								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fábricas Inteligentes				x					
Impressão 3D		x							
Manufatura Aditiva		x							
Robôs			x						
<i>Big Data</i>			x						
Computação em Nuvem					x				
Integração e Sistemas			x						
IoT		x							
Cibersegurança				x					
CPS			x						
Inteligência Artificial	x								
Realidade Aumentada	x								
RFID		x							
Simulação		x							
Veículos Autônomos (Drones)	x								

Fonte: Elaborado pela autora

### Roteiro C - Validação do Artefato – V3

Após apresentar a metodologia e a V3 do *framework* de priorização de tecnologias da I4.0, questionou-se se ele era condizente para nortear as decisões estratégicas ou de investimentos da Unidade de negócios em questão.

*[...] Os conceitos de critérios competitivos listados - custo, entrega, rapidez, flexibilidade, qualidade, sustentabilidade e inovação - são corretos e estão de acordo com a forma como categorizamos nossas vantagens ou desvantagens competitivas em relação à concorrência. [...] As tecnologias listadas são críticas (algumas mais do que outras), e avaliaríamos a importância relativa de cada uma delas de forma semelhante às pontuações ponderadas listadas. [...] Ao ponderar esses fatores, podemos ter mais análises quantitativas para investimentos de capital.*

A segunda questão quanto à validação do artefato foi feita da seguinte forma: ao observar o *framework* critério a critério, a priorização das tecnologias por critério competitivo é condizente com a realidade da organização?

*[...] Em alguns casos há coerência, por exemplo, nas fábricas inteligentes e computação em nuvem para investimentos a fim de melhorar nossa flexibilidade e velocidade para o mercado. No entanto, em nosso setor não estamos empregando atualmente a manufatura aditiva em nossos processos principais, pois isto é mais para P&D em nossos tipos de mercados de uso final exigentes.*

*[...] Quanto aos custos, concordamos que o uso de veículos autônomos e robôs são prioridade, assim como os generalistas da indústria.*

A terceira questão era sobre considerar o *framework* apresentado para nortear a tomada de decisão em investimentos na I4.0 na unidade de negócios pesquisada e se isso fazia sentido.

*[...] Concordamos que, nas áreas de alinhamento (custo, flexibilidade, velocidade, por exemplo), a orientação do processo decisório incluiria uma pontuação de prioridade de acordo com os critérios e a matriz tecnológica apresentada pelo autor. [...] Em áreas onde nossa situação tecnológica é capaz de lidar com novos processos, faz sentido levar em conta a orientação de tal modelo.*

A quarta questão era se a empresa usaria este *framework* para discussões a fim de nortear seus planos de investimentos em I4.0 e em uma futura tomada de decisões dentro da sua unidade de negócios.

*[...] Utilizaríamos a estrutura como uma contribuição para nosso processo de tomada de decisão e planejamento de investimento. Decisões estratégicas baseadas em competências competitivas e posição de mercado seriam afetadas pelo uso deste processo e ajudariam a esclarecer pontos fortes/fracos para nossa empresa.*

A última questão perguntava se o entrevistado tinha alguma consideração sobre a pesquisa e/ou *framework* a acrescentar.

[...] Não, não temos.

Ao avaliar as respostas desta UEN, também se observa que não estava claro o conceito de critérios competitivos, pois os critérios selecionados pelo entrevistado foram desempenho de entrega, qualidade, custos, flexibilidade, mas o entrevistado adiciona como critérios: abrangência da linha de produtos, suporte técnico, suporte/educação de marketing, reconhecimento da empresa e nome comercial.

Esse ponto é relevante ao se pensar no uso do *framework* proposto, pois o que norteia a priorização é a escolha do critério. Dessa forma, o conceito precisa estar claro para a UEN. Diante da situação que a UEN elegeu, vários critérios reforçam a questão do *trade-off*, ou seja, a necessidade da priorização de critérios competitivos que alguns autores trazem, uma vez que a empresa precisa avaliar se é possível atingir bons resultados em duas dimensões competitivas simultaneamente.

Importante destacar que, dos três casos, esta UEN é a que possui maior maturidade tecnológica, já que iniciou a implantação de todas as tecnologias habilitadoras trazidas pelo *framework* V3 (*Big Data*, Computação em Nuvem, IoT), seguidas pelas tecnologias integradoras (Integração de Sistemas, Cibersegurança, CPS, RFID e Simulação). Também iniciou a implantação de todas as tecnologias aplicadoras (Fábricas Inteligentes, Impressão 3D, Manufatura Aditiva, Robôs). Esses pontos demonstram que o estudo de caso prático também valida a convergência de tecnologias trazidas no *framework* teórico conforme a OCDE.

#### 4.2.2.3 Estudo de Caso – Ensinger Alemanha

A unidade matriz Ensinger GmbH está localizada no sudoeste da Alemanha, em Nufringen, Baden-Württemberg. Duas linhas produtivas de *Shapes*, extrusão de semiacabados (barras, chapas e tubos) e a linha de perfis industriais (incluindo tubos com paredes inferiores a 2,0mm) estão localizadas em Nüfringen. Nas linhas de extrusão de Nüfringen, são fabricados principalmente materiais de alta performance, entre grades naturais, aditivados e carregados, que compõem as famílias TECAPEEK (PEEK), TECATRON PPS (PPS), TECADUR PBT (PBT), TECAFLON PVDF (PVDF) e TECASON P (PPSU), entre outras.

A nova divisão da empresa, de filamentos em plásticos de engenharia e alta performance para manufatura aditiva (família TECAFIL), está localizada também

nesta unidade. Também, na Alemanha, estão localizadas as unidades de manufatura de peças injetadas (divisão de *Injection Molding*), semiacabados fundidos em *cast nylon* (família TECAST) e usinagem de peças. Com base em sua expertise de processo e amplo conhecimento dos materiais termoplásticos, a unidade de injeção é responsável pela manufatura de peças técnicas para diferentes segmentos de mercado, sendo a indústria automotiva um dos seus maiores clientes.

Em relação ao roteiro de entrevista, ele foi dividido em critérios competitivos, I4.0 e validação do artefato.

### **Roteiro A: Critérios Competitivos**

Na primeira questão, foi indagado qual era o critério competitivo da unidade de negócios de *Shapes*. Em relação a esse questionamento, o entrevistado respondeu:

*[...] Os critérios competitivos gerais são também os critérios relevantes para a operação Shapes. Os pontos/itens de ação são definidos pela tecnologia disponível, em vez disso, pela competitividade e/ou benchmark para o mercado/cliente. Ou também com base na maturidade/prontidão da organização.*

### **Roteiro B: Indústria 4.0**

Em relação à maturidade da implantação das tecnologias da I4.0, seguem as respostas no Quadro 23.

Quadro 23 - Maturidade da Implantação das Tecnologias da I4.0 – Alemanha

Desempenho/ Maturidade de Implantação	Baixa									Alta
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Fábricas Inteligentes	x									
Impressão 3D	x									
Manufatura Aditiva	x									
Robôs		x								
<i>Big Data</i>						x				
Computação em Nuvem						x				
Integração e Sistemas				x						
IoT			x							
Cibersegurança	x									
CPS	x									
Inteligência Artificial	x									
Realidade Aumentada	x									
RFID	x									
Simulação			x							
Veículos Autônomos (Drones)	x									

Fonte: Elaborado pela autora

### Roteiro C: Validação do Artefato – V3

Após apresentar a metodologia e a V3 do *framework* de priorização de tecnologias da I4.0, questionou-se se este era condizente para nortear as decisões estratégicas ou de investimentos da Unidade de negócios em questão.

[...] Os critérios gerais de competitividade também são os critérios relevantes para a avaliação das ferramentas I4.0 para a operação *Shapes*. Enquanto as tecnologias apresentadas não são todas relevantes para as operações de *Shapes*.

A segunda questão quanto à validação do artefato foi feita da seguinte forma: ao observar o *framework* critério a critério, a priorização das tecnologias por critério competitivo é condizente com a realidade da organização?

*[...] A priorização na tabela acima me parece ser uma discussão geral para tarefas de fabricação e operacionais, mas não reflete as necessidades específicas para uma produção/operação específica.*

A terceira questão era sobre considerar o *framework* apresentado para nortear a tomada de decisão em investimentos na I4.0 na unidade de negócios pesquisada e se isso fazia sentido.

*[...] Isto sustentaria meu argumento, se eu pensasse em novos métodos para produzir produtos, mas a avaliação parece diferente para a melhoria das unidades de produção existentes, empresas.*

A quarta questão era se a empresa usaria este *framework* para discussões para nortear seus planos de investimentos em I4.0 e em uma futura tomada de decisões dentro da sua unidade de negócios.

*[...] Para alcançar competitividade de acordo com os critérios acima descritos, eu preferiria basear a decisão na avaliação de custo/desempenho/tempo de execução. As exigências do mercado/clientes nos impulsionam nos negócios existentes a "melhorar" ou "recuperar o atraso", com base nesta "pressão" temos que definir as ferramentas/tecnologias certas para atingir este objetivo principal.*

A última questão indagava se o entrevistado tinha alguma consideração sobre a pesquisa e/ou *framework* a acrescentar.

*[...] Não.*

Cabe destacar que, na avaliação do caso desta UEN, não estava claro o conceito de critério competitivo para o entrevistado no início da entrevista, pois ele responde que o critério competitivo da UEN eram os critérios gerais de competitividade e, somente ao final da entrevista, quando o entrevistado fez o fechamento da entrevista e validou o *framework*, que ele, então, expõe que “preferia basear a decisão em custos e desempenho de entrega”. O conhecimento do critério competitivo pela empresa, por sua vez, é de suma importância para que se possa

prosseguir na priorização de tecnologias da I4.0, conforme a proposta de *framework* desta tese, assim como o conhecimento das tecnologias da I4.0.

Um ponto relevante em relação ao caso desta UEN foi a maturidade da implantação das tecnologias, visto que a UEN já iniciou a implantação de todas as tecnologias habilitadoras trazidas pelo *framework* V3 (*Big Data*, Computação em Nuvem, IoT), seguidas pelas tecnologias integradoras (Integração de Sistemas e Simulação) e tecnologias aplicadoras (Robôs). Esses pontos demonstram que o estudo prático valida a convergência de tecnologias trazidas no *framework* teórico conforme a OCDE.

## 5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após verificar os resultados coletados na validação do artefato (fase 7.1 entrevista com especialistas e fase 7.2 validação prática, que se referem ao estudo de caso), esta seção tem como objetivo discutir os resultados encontrados. As discussões serão realizadas levando em consideração as dimensões propostas pelo *framework* teórico.

### 5.1 Dimensão Competitiva da Estratégia de Produção

No âmbito desta pesquisa, foi questionado aos entrevistados na validação prática do estudo (fase 7.2 do método de trabalho) o critério/ou critérios competitivos da UEN objeto do estudo (*shapes*). Cabe explicar que o objetivo da questão era o de direcionar ao *framework* V3 e iniciar as próximas validações do estudo referente à priorização das tecnologias da I4.0 em relação ao critério competitivo da respectiva UEN. No Quadro 24, apresentam-se os critérios competitivos por UEN, país e por entrevistado.

Quadro 24 - Critérios Competitivos por País

Entrevistado G	Entrevistado E	Entrevistado F
País: Brasil	País: Estados Unidos	País: Alemanha
<b>Critérios:</b> Custos / Desempenho de Entrega	<b>Critérios:</b> Desempenho de Entrega / Qualidade / Custos / Flexibilidade	<b>Critérios:</b> Custos / Desempenho de Entrega

Fonte: Elaborado pela autora

Cabe destacar que se observou que não estava claro conceitualmente ou havia divergências entre os entrevistados ao selecionar os critérios competitivos. Vale destacar que são os critérios competitivos que possibilitam uma melhor análise acerca do posicionamento dos produtos e bens frente às exigências do mercado e dos clientes.

Essa validação do critério competitivo é um ponto relevante ao se pensar no uso do *framework* proposto, pois o que norteia a priorização neste estudo é a escolha do critério competitivo. Dessa forma, o conceito precisa estar claro para a empresa. Diante da situação em que a UEN se encontra, ela elegeu vários critérios, critérios

inexistentes na pesquisa e foi usado também o termo de “critérios gerais”. A escolha do critério competitivo é uma premissa para a tese e para o *framework*, visto que sem essa definição correta toda a estratégia de futuros investimentos pode ocorrer de forma errada.

Ao entender a necessidade de abordar sobre critérios competitivos, há uma questão importante que reforça sobre o *trade-off*, ou seja, a necessidade da priorização de critérios competitivos, uma vez que a empresa precisa avaliar se é possível atingir bons resultados em duas dimensões competitivas simultaneamente.

Cabe observar, por exemplo, que as ferramentas de eficiência operacional melhoram um critério competitivo e produzem melhorias sistêmicas nos demais. Deve ocorrer o mesmo com as tecnologias que serão priorizadas.

Para incrementar essa discussão a respeito dos *trade-offs*, evidenciou-se no estudo de umas das UENs a seleção de quatro critérios competitivos, ou seja, reforça a necessidade de conhecimento, clareza e avaliação por parte da empresa se realmente é necessário atingir bons resultados em dois ou mais critérios competitivos ao mesmo tempo, ou se os critérios competitivos se forçam uns aos outros.

Complementando sobre critérios competitivos, Côrrea e Côrrea (2017) expõem que os critérios competitivos para uma empresa podem ser múltiplos, inter-relacionados ou conflitantes. Não excluem, por conseguinte, a potencialidade de utilização conjunta de vários critérios competitivos.

O termo competitividade foi um termo utilizado para complementar as respostas por dois dos Entrevistados (E e F). Em suas falas, eles corroboram com o *framework teórico* proposto para a construção da priorização de tecnologias da I4.0. É possível inferir que, ao selecionar e conhecer os critérios competitivos nos quais a empresa compete, faz com que a empresa aumente a sua competitividade e, com isso, passe pelo melhor aproveitamento dos recursos, que é a proposta deste estudo. No momento em que uma empresa faz a escolha ótima de seus investimentos, há um melhor uso dos recursos, aumento da sua eficiência, agregação de valor ao seu cliente e passa por um processo de diferenciação. Então, aqueles que tiverem melhores instalações, mais adequadas aos clientes, podem se tornar mais poderosos no mercado; isso pode ser sustentado, portanto, por meio de autonomia e capacidades habilitadas pelas tecnologias da I4.0.

Adicionalmente, competitividade se refere à capacidade de uma organização sobreviver em um ambiente competitivo como o mercado, oferecendo produtos ou

serviços que sejam atraentes e que possam satisfazer os clientes. Diferentes empresas e setores necessitam de prioridades distintas para uma vantagem competitiva (SCHMENNER; VASTAG, 2006; NARKHEDE, 2017).

Em resumo, com a análise das entrevistas das UENs e o estudo no contexto da dimensão competitiva da estratégia de produção, além de permitir conhecer os critérios competitivos, validar os critérios para o estudo e discutir sobre o tema, foi possível perceber a importância deste contexto para o *framework*. A I4.0 é um novo arranjo para as empresas comprarem, produzirem e venderem seus produtos. Não é uma questão somente de automatizar o chão de fábrica, comprar robôs e sim de ter uma fábrica organizada e conectada com o cliente.

Sendo assim, é possível inferir que nesta tese o contexto da dimensão competitiva da estratégia de produção é mais amplo do que expor sobre critérios competitivos. Conforme o *framework teórico* Figura 1, o contexto está envolto por uma proposta de valor. Sendo assim, a proposta de valor está diretamente ligada à estratégia do negócio. A proposta de valor impacta, então, as operações, e a definição de seus critérios competitivos para cada contexto nacional direcionará a empresa à tomada de decisão para seus investimentos com menor riscos e incertezas. Para Osterwalder (2004), a proposta de valor consiste nas ofertas que a empresa faz que são valorizadas pelo cliente.

Complementando, estratégias sustentáveis de longo prazo, tanto para o desenvolvimento do país como para a competitividade das empresas industriais, necessitam de eficiência nas operações com inovação, a fim de propiciar a criação de valor e uma mudança no patamar da indústria (ANTUNES JUNIOR *et al.*, 2008). A seguir, são apresentados os resultados da análise das entrevistas da dimensão tecnológica.

## **5.2 Dimensão Tecnológica**

Ao validar a V3 do *framework* de priorização de tecnologias da I4.0, no estudo de caso, as três UENs concordam que o *framework* de priorização de tecnologias da I4.0 era condizente para nortear discussões de planos de investimentos em I4.0 e em uma futura tomada de decisões dentro da sua unidade de negócios. Contudo, foram feitos comentários relevantes sobre algumas posições das tecnologias que se faz importante esclarecer.

Uma das discussões geradas nas entrevistas foi sobre a Manufatura Aditiva não ser adequada à UEN - *Shapes*, porém a UEN - *Shapes* Estados Unidos pontuou uma tecnologia que já está sendo implantada e comenta que se enquadra também em P&D. Entretanto, um ponto que foi levantado nos casos individuais é o conhecimento por parte dos entrevistados em relação às tecnologias da I4.0, sendo necessário em alguns momentos a interrupção da entrevista para esclarecimentos das características de algumas das tecnologias elencadas no estudo. Para a validação deste *framework*, é uma premissa ter o conhecimento essencialmente teórico das tecnologias elencadas na V3, para que se possa fazer a confirmação assertiva da proposta de priorização levando em consideração os critérios competitivos e as tecnologias selecionados. Assim sendo, deve-se considerar que o conhecimento sobre a utilização e os benefícios dessas tecnologias ainda é limitado (LIEBRECHT *et al.*, 2017).

Considerando as inúmeras tecnologias existentes, é necessário um instrumento que selecione as principais e mais usadas, para auxiliar os tomadores de decisões a serem mais assertivos no momento de suas escolhas.

No que tange ao desempenho de entrega, um dos critérios unânimes selecionado pelas três UENs, ao ser utilizada pelos sistemas produtivos, a Manufatura Aditiva permite cadeias de fornecimento mais simples e prazos de entrega mais curtos (LONG *et al.*, 2017a). Por meio da Manufatura Aditiva, a produção de pequenos lotes de produção potencializa cadeias de fornecimento mais simples, estoques reduzidos, conseqüentemente, prazos de entrega menores (NELSON *et al.*, 2017; PETRICK; SIMPSON, 2013). A manufatura aditiva possui cadeias menores, menos dispendiosas e mais ágeis de fornecimento, especialmente para pequenas quantidades ou em componentes altamente especializados (FORD, 2014).

Quanto ao critério custos, também selecionado por todas as UENs pesquisadas, encontram-se na literatura movimentos positivos quanto à Manufatura Aditiva. Os autores Attaran (2017), Ding e Bao (2016), Farish (2015), Gardiner (2015) e Nelson *et al.* (2017) defendem que a Manufatura Aditiva irá reduzir os custos do produto final. Enquanto Prince (2014) corrobora que os produtos personalizados e de baixo custo fazem com que a manufatura aditiva provoque uma mudança radical nos modelos tradicionais de manufatura.

Entretanto, a literatura apresenta algumas repercussões negativas, com as trazidas pelos autores Lencklider (2017), Long *et al.* (2017b) e Pickett (2015) que

expõem que os equipamentos têm um elevado custo, assim como Berman (2012) e Mishra (2013) que apresentam o aumento de custo de produção em série como algo negativo em relação à manufatura aditiva. Além, é claro, da redução do rendimento da produção (D'AVENI, 2015; FRAZIER, 2014; PICKETT, 2015).

Fica evidente que a literatura diverge em alguns pontos, mas também é claro que o conhecimento por parte da empresa/corporação dos seus critérios competitivos e o conhecimento das tecnologias podem vir a reduzir as divergências e melhorar o direcionamento no momento da escolha/seleção das tecnologias da I4.0 para seus investimentos ao utilizar o *framework* proposto.

Corroborando, na V3, no critério competitivo sustentabilidade, a primeira tecnologia selecionada pelos 63 respondentes da pesquisa para a criação da V1 da proposta de priorização de tecnologias da I4.0 foi a manufatura aditiva, pois é uma tecnologia mais limpa e que reduz o impacto ambiental dos processos tradicionais de fabricação. Do mesmo modo, há uma pressão social para que as empresas diminuam taxas de consumo de recursos não renováveis

Sendo assim, é possível inferir que nesta tese o contexto da dimensão tecnológica buscou trazer, por meio da RSL, bibliometria, pesquisa bibliográfica e da pesquisa com especialistas (63 respondentes), as tecnologias mais utilizadas na produção para não tornar o *framework* um instrumento específico para um ramo de atividade. Outrossim, evidenciou-se na literatura as convergências de tecnologias chaves (habilitadoras, integradoras e aplicadoras) conforme a OECD. Será apresentada na próxima seção uma análise da maturidade tecnológica de cada país, dentro da dimensão de contexto.

### **5.3 Dimensão de Contexto**

Esta seção mostra uma análise da maturidade tecnológica de cada país em relação à implantação das tecnologias da I4.0. O objetivo desta análise foi verificar qual dos países apresentava uma maior maturidade em relação às tecnologias da I4.0.

A métrica utilizada para comparar a pontuação (total) no final dos quadros por países foi: (frequência do número da linha baixa ou alta x o número de vezes que o número foi selecionado). Exemplo: (1 baixa x 11 vezes marcado = 11).

Ao analisar a maturidade de implantação do Brasil, verifica-se que o Brasil, dentre as três UENs, é a que apresenta a menor maturidade tecnológica, com 19

pontos. No entanto, observa-se no Quadro 25 que a UEN já iniciou a implantação de duas tecnologias habilitadoras (Computação em Nuvem e IoT) e duas tecnologias integradoras (Integração de Sistemas e Cibersegurança).

Quadro 25 - Maturidade de Implantação das Tecnologias por Classificação - Brasil

Classificação da Tecnologia	Desempenho/ Maturidade de Implantação	Baixa									Alta	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Habilitadora	<i>Big Data</i>	x										
Habilitadora	Computação em Nuvem		x									
Habilitadora	IoT		x									
Integradora	RFID	x										
Integradora	Integração e Sistemas		x									
Integradora	Cibersegurança		x									
Integradora	CPS	x										
Integradora	Inteligência Artificial	x										
Integradora	Realidade Aumentada	x										
Integradora	Simulação	x										
Aplicadora	Veículos Autônomos (Drones)	x										
Aplicadora	Fábricas Inteligentes	x										
Aplicadora	Impressão 3D	x										
Aplicadora	Manufatura Aditiva	x										
Aplicadora	Robôs	x										
Total		11	8	0	0	0	0	0	0	0	0	19

Fonte: Elaborado pela autora

Ao analisar a maturidade de implantação dos Estados Unidos, verifica-se que esta UEN é a que apresenta a maior maturidade tecnológica, com 38 pontos. Entretanto, percebe-se, no Quadro 26, que a UEN já iniciou a implantação de 12 tecnologias das 15 tecnologias apresentadas neste estudo. As tecnologias que a UEN não iniciou a implantação são as tecnologias integradoras (Inteligência Artificial e Realidade Aumentada) e tecnologia aplicadora (Veículos Autônomos – Drones).

Quadro 26 - Maturidade de Implantação das Tecnologias por Classificação – Estados Unidos

Classificação da Tecnologia	Desempenho/ Maturidade de Implantação	Baixa									Alta
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Habilitadora	<i>Big Data</i>			x							
Habilitadora	Computação em Nuvem					x					
Habilitadora	IoT		x								
Habilitadora	RFID		x								
Integradora	Integração e Sistemas			x							
Integradora	Cibersegurança				x						
Integradora	CPS			x							
Integradora	Inteligência Artificial	x									
Integradora	Realidade Aumentada	x									
Integradora	Simulação		x								
Aplicadora	Veículos Autônomos (Drones)	x									
Aplicadora	Fábricas Inteligentes				x						
Aplicadora	Impressão 3D		x								
Aplicadora	Manufatura Aditiva		x								
Aplicadora	Robôs			x							
Total		3	10	12	8	5	0	0	0	0	38

Fonte: Elaborado pela autora

Ao analisar a maturidade de implantação da Alemanha, nota-se que esta UEN é a que apresenta uma média maturidade tecnológica, com 33 pontos. Contudo, observa-se, no Quadro 27, que a UEN já iniciou a implantação das tecnologias habilitadoras (Big Data, Computação em Nuvem e IoT), das tecnologias integradoras (Integração de Sistemas, Simulação) e das tecnologias aplicadoras (Robôs). Durante a entrevista, o entrevistado F expôs que foram implantadas ferramentas de sistemas de planejamento inteligente para aumentar a produção e maximizar a utilização de recursos, além do primeiro piloto do sistema IoT que já foi iniciado, mas sinalizou que o grande desafio na extrusão é a coleta de dados.

Quadro 27 - Maturidade de Implantação das Tecnologias por Classificação – Alemanha

Classificação da Tecnologia	Desempenho/ Maturidade de Implantação	Baixa									Alta
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Habilitadora	<i>Big Data</i>						x				
Habilitadora	Computação em Nuvem						x				
Habilitadora	IoT			x							
Habilitadora	RFID	x									
Integradora	Integração e Sistemas				x						
Integradora	Cibersegurança	x									
Integradora	CPS	x									
Integradora	Inteligência Artificial	x									
Integradora	Realidade Aumentada	x									
Integradora	Simulação			x							
Aplicadora	Veículos Autônomos (Drones)	x									
Aplicadora	Fábricas Inteligentes	x									
Aplicadora	Impressão 3D	x									
Aplicadora	Manufatura Aditiva	x									
Aplicadora	Robôs		x								
Total		9	2	6	4	0	12	0	0	0	33

Fonte: Elaborado pela autora

Após apresentar os dados das três UENs, é possível inferir que o país que está com maior maturidade tecnológica é os Estados Unidos; após, a Alemanha; seguida pelo Brasil. Em relação a investimentos na I4.0, pode-se inferir que a diferença do Brasil para os Estados Unidos e Alemanha são custos relativos dos fatores de produção, já discutidos no decorrer desta tese. Nos Estados Unidos e na Alemanha, há escalas de produção dentro do mercado nacional maiores. O custo de mão de obra no Brasil é 20% do custo de mão de obra dos demais países (Alemanha e Estados Unidos), e a depreciação é mais expressiva, devido ao fato de as tecnologias ainda serem mais caras no Brasil. Algumas tecnologias ainda dependem de importação, não estando disponíveis no Brasil, tornam-se, portanto, mais onerosas.

Sendo que na Alemanha e nos Estados Unidos a mão de obra é mais cara e o custo da tecnologia mais acessível, o investimento se torna mais atrativo, favorecendo a automatização dos processos. Por outro lado, o Brasil, com suas escalas de produção menores, com uma variedade grande de produtos e com custos relativos de produção diferentes, acaba se automatizando menos.

Neste íterim, é importante analisar o contexto em que as empresas estão inseridas no momento da tomada de decisão de investimentos. Esta tese não levou

em consideração projeções futuras de mão de obra, assim como custo de mão de obra futuro, entre outros fatores que serão tratados nas limitações desta tese.

Ao desenvolver o *framework* teórico, a dimensão de contexto indica que as corporações/empresas não tomem decisões iguais para a implantação de tecnologias da I4.0. Dito de outro modo, que as UENs possam tomar suas decisões diferentes de investimentos, levando em consideração o contexto nacional em que estão inseridas e a forma como planejam competir.

Desse modo, os tomadores de decisão ou responsáveis devem usar o *framework* para guiar as suas possibilidades de investimentos em tecnologias da I4.0, concentrando-se nas demandas de clientes. Não devem, portanto, buscar tendências tecnológicas desagregadas com os objetos da organização e fora do contexto em que estão inseridas.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A transformação digital está ocorrendo nas empresas, e as organizações buscam a transformação digital com a finalidade de otimizar os processos, reduzir tempo de operações, incluir melhorias na qualidade, flexibilizar e reduzir custos, que conseqüentemente melhoram os processos e colaboram nas mudanças da organização.

O conceito da indústria 4.0 vai além da manufatura e é continuamente utilizado para descrever a transformação digital ou virtual dos negócios, mais do que redução de custos e melhoria da receita, são oportunidades de transformação de negócios, situação em que as empresas podem relacionar a eficiência produtiva com a redução de custos.

A I4.0 é um novo paradigma dos sistemas produtivos que vem movimentando as discussões de tomadas de decisões das empresas. As empresas, por sua vez, entendem que precisam agir, e existem necessidades por parte dessas organizações no sentido de tomarem decisões rápidas e assertivas de investimentos, levando em consideração o contexto nacional em que estão inseridas e a forma como planejam competir. Sendo assim, verifica-se que há uma necessidade de a estratégia de negócios das empresas estarem alinhadas ao mecanismo da função produção e, conseqüentemente, à necessidade de investimentos nas novas tecnologias existentes. Nesse contexto, surgem incertezas na tomada de decisão quanto à implantação e priorização das tecnologias da I4.0.

Dessa forma, abre-se um espaço de discussão sobre quais tecnologias implantar e a ordem de implantação, de modo que ocasione uma nova forma de criar valor para a organização e até mesmo a criação de novos modelos de negócios, levando em consideração seus critérios competitivos, visto que a manufatura deve estar alinhada à maneira como os negócios competem no mercado. Desse modo, ao buscar a vantagem competitiva, as empresas devem alinhar as estratégias de operações aos critérios mais relevantes para seus clientes e os que lhes potencializam em relação aos concorrentes.

Esta tese utilizou-se da DSR para propor um *framework* que possa ser utilizado pelas organizações para discutir a priorização de implantação das tecnologias da Indústria 4.0 a partir da estratégia de produção com base nos critérios competitivos. A DSR foi a escolhida porque é orientada à resolução de problemas, aproximando a

teoria e a prática (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015). Ao mesmo tempo, o resultado desta pesquisa contribui para o avanço dos estudos da área, pois propõe algo novo que está embasado pelo conhecimento existente. Esta pesquisa foi conduzida obedecendo as etapas da DSR.

A pesquisa foi direcionada pela criação, desenvolvimento e avaliação do artefato. A proposição do artefato inicial – Fase 4 da pesquisa apresentou a V0 que se embasou no *framework* teórico sobre tecnologias convergentes chaves da indústria 4.0, das quais foram extraídas as quinze principais tecnologias conforme OECD (2017) e Rübmann *et al.* (2015): bibliometria e pesquisa bibliográfica, tendo sido nomeadas de dimensão tecnológica. O artefato também trouxe a dimensão da estratégia competitiva de produção, que foram os sete critérios competitivos selecionados por meio de RSL e pela técnica bola de neve. Os especialistas podiam sugerir novas tecnologias da I4.0 e novos critérios competitivos, assim como questionar critérios e tecnologias do instrumento recebido.

A primeira proposta do *framework* foi modificada a partir da interação com 63 especialistas da área de inovação e I4.0, gerando a versão do artefato V1, pois os especialistas responderam uma entrevista quantificando as características das tecnologias da I4.0 quanto aos critérios competitivos conforme uma tabela Likert. Desse modo, foi preciso transformar o artefato em quantitativo para calcular a priorização. As interações geraram um resultado, a média por tecnologia e para cada critério competitivo, sendo está a priorização a ser considerada nessa versão. Visando dar maior robustez ao método de trabalho, buscou-se uma validação estatística intra e inter variáveis. Sendo assim, os dados dos 63 respondentes foram submetidos à análise de variância ANOVA para medidas repetidas com ajuste das diferenças pelo teste de Bonferroni. O nível de significância adotado foi de 5% ( $p < 0,05$ ) e as análises foram realizadas no software SPSS versão 21.0. A V1 foi elaborada em relação ao próprio grupo (variação intra) avaliando dessa forma a discrepância de todos os valores brutos em relação às médias dos grupos aos quais pertencia (horizontalmente), mas, após a análise, verificou-se que era necessário fazer a avaliação inter variáveis.

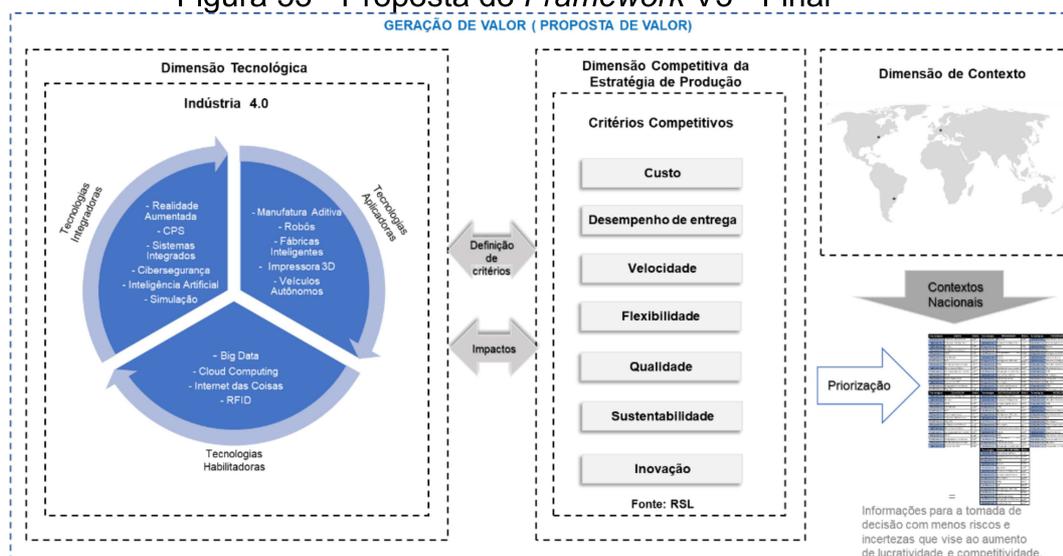
A terceira proposta do *framework* – a V3 – foi elaborada em relação a vários grupos (variação inter) avaliando dessa forma a própria discrepância existente entre as médias dos vários grupos (verticalmente), sendo que as médias levam uma letra ao lado, que significam que letras iguais não diferem pelo teste de Bonferroni a 5% de

significância. Após a conclusão da V3, buscou-se a avaliação do artefato – avaliação por grupo focal de especialistas em inovação, competitividade e I4.0 e estudo de caso. Tal medida permitiu uma discussão dos pontos de futuras melhorias do artefato e pontos positivos da V3. Os especialistas contribuíram discutindo sobre a inserção da tecnologia 5G na V3, também explanaram sobre as diferentes necessidades tecnológicas das empresas e que o *framework* precisaria ser avaliado numa próxima etapa (estudo de caso). Salientaram positivamente a importância do embasamento da RSL, bibliometria, para validar as principais tecnologias e critérios competitivos, mas que era essencial a validação do estudo de caso.

Em relação ao estudo de caso, a validação foi feita em três UEN - *Shapes* no Brasil, Estados Unidos e Alemanha. As três unidades foram positivas ao uso do *framework* com o intuito da tomada de decisão para priorização de implantação das tecnologias da I4.0 e validaram o *framework* nos critérios competitivos selecionados pela UEN. Por outro lado, foi possível com este estudo verificar que é necessário ter um maior esclarecimento sobre os temas, ou seja, um conhecimento maior dos respondentes por parte dos critérios competitivos e, também, sobre as características das tecnologias da I4.0, visto que a falta de conhecimento por parte dos tomadores de decisão pode acarretar decisões de investimentos errôneas.

Pode-se se dizer que esta tese atingiu os objetivos propostos, sendo que o *framework* foi validado pelo grupo focal de especialistas, bem como no estudo de caso. A V3 final do *framework* considerada é apresentada na Figura 33.

Conclui-se que, para considerar as inúmeras tecnologias da I4.0 e os custos desses investimentos, as empresas necessitam de instrumentos que as auxiliem na tomada de decisões de investimentos mais assertivas e que reduzam as incertezas. Cabe mencionar que, com o *framework* proposto, é possível alinhar as estratégias de operações aos critérios competitivos de maior relevância para seus clientes com potencial de criação de valor. Adicionalmente, as empresas precisam se preparar e conhecer mais sobre as tecnologias da I4.0, pois não se trata de implantar uma tecnologia e sim ter o entendimento dos benefícios da convergência e da integração que elas podem oferecer.

Figura 33 - Proposta do *Framework V3* - Final

Fonte: Elaborado pela autora

## 6.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

As limitações desta pesquisa são inerentes ao método escolhido, a saber: diversos cuidados foram tomados no sentido de garantir a confiabilidade e a validade dos resultados, mas as limitações existem e precisam ser evidenciadas.

A principal limitação diz respeito à falta de clareza dos critérios competitivos em um primeiro momento por parte dos entrevistados no estudo de caso, premissa para a proposta de priorização das tecnologias do artefato, visto que, sem essa definição correta, toda a estratégia de futuros investimentos pode ocorrer de forma errada.

Pode-se dizer que a segunda limitação é o conhecimento sobre a utilização, benefícios e características das tecnologias. Esse conhecimento mostrou-se limitado para uma das UENs entrevistadas. Desse modo, sem ele, os tomadores de decisão podem incorrer em tomadas de decisões erradas ou deixarem de investir em tecnologias que seriam viáveis à empresa por falta desse conhecimento.

Uma terceira limitação que se observou no decorrer da validação do artefato no estudo de caso foi que o *framework* não previu a maturidade tecnológica da empresa. O artefato não tem flexibilidade nas tecnologias, ou seja, retirar tecnologias já implantadas 100% pela empresa e incluir novas tecnologias conforme a necessidade da empresa ou ramo de atividade, como sugerido pelo grupo focal de especialistas na validação do artefato da V3. Esse tema foi adicionado em trabalhos futuros.

Uma quarta limitação é que o estudo foi validado por três empresas do ramo da indústria plástica de alta performance em países diferentes, mas não se pode garantir que o artefato desempenhe igualmente bem em outros ramos de atividades da indústria e em todos os segmentos de negócios do caso de estudo, por exemplo. A aplicação em mais empresas e ramos de atividades diferentes daria, assim, mais robustez ao artefato proposto.

Enfim, o resultado desta tese deve ser considerado como uma entrega de um processo contínuo. O tema em questão é relevante, complexo e dinâmico, compreendendo-se um objeto adequado e que devido ao fato de as tecnologias estarem em constante mudanças e as necessidades das empresas também, precisa-se de flexibilidade para atender a essas necessidades. Nesse sentido, a seção a seguir trata das sugestões para trabalhos futuros.

## 6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao considerar os resultados desta tese e as limitações mencionadas, foram identificadas algumas oportunidades de pesquisas adicionais futuras que podem contribuir para o estudo da indústria 4.0 e para a estratégia de produção. Como já mencionado, uma das recomendações seria realizar estudos em que o *framework* consiga prever a maturidade tecnológica da empresa em estudo e que tenha flexibilidade para fazer os ajustes das tecnologias da I4.0 necessárias.

Outra possibilidade é avaliar o *framework* em outras UENs em estudo para verificar sua aplicabilidade, sugestão dos entrevistados da UEN - Brasil. Com isso, poder-se-ia aplicar o estudo de caso em mais empresas e ramos de atividades diferentes da empresa estudada.

Considera-se também possível conectar os critérios competitivos às tecnologias da I4.0. Avança-se, com isso, no sentido de contemplar as características de cada tecnologia da I4.0 e os benefícios, impactos que elas podem causar nos critérios competitivos selecionadas pelas empresas, para uma melhor tomada de decisão.

Uma outra sugestão é investigar outros fenômenos como os custos relativos dos fatores de produção, pois a presente tese trouxe um contexto de três países diferentes. Contudo, é possível questionar: mas como está essa evolução dos custos relativos dos fatores de produção? A tendência é o Brasil continuar tendo custos de

mão de obra baixos e investir menos em tecnologia? Entende-se que há oportunidades e elementos a compreender para tomar decisões de investimentos futuros.

Outra oportunidade de estudo é avaliar a contribuição das tecnologias no processo de suporte da cadeia de valor para melhoria da dimensão competitiva principal.

As sugestões aqui descritas são, obviamente, não exaustivas. Compreende-se apenas exemplos de como esta tese pode servir de inspiração para continuamente desenvolver o conhecimento sobre os temas tratados.

## REFERÊNCIAS

- ABIPLAST, Associação Brasileira da Indústria do Plástico. **A Indústria de Transformação e Reciclagem de Plástico no Brasil**. 2018. Disponível em: <[http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2021/05/PREVIEW\\_ABIPLAST\\_2020.pdf](http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2021/05/PREVIEW_ABIPLAST_2020.pdf)>. Acesso em: 4 dez. 2021.
- ABOELMAGED, Mohamed Gamal. Harvesting organizational knowledge and innovation practices: An empirical examination of their effects on operations strategy. **Business Process Management Journal** v. 18, n. 5, p. 712-734, 2012.
- ADLER, Mortimer Jerome; DOREN, Charles Van. **Como ler livros**: o guia clássico para a leitura inteligente. São Paulo: Realizações, 2014.
- ANDERL, Reiner. **Industrie 4.0** - Advanced Engineering of Smart Products and Smart Production. 2014, Piracicaba: 19 th International Seminar on High Technology, 2014. p.1-14.
- ANDERSON, James C.; NARUS, James A.; VAN ROSSUM, Wouter. Customer value propositions in business markets. **Harvard Business Review** v. 84, n. 3, p. 1-8, 2006.
- ANTUNES JUNIOR, José Antônio Valle *et al.* **Sistemas de Produção**: Conceitos e Práticas para Projeto e Gestão da Produção Enxuta. Porto Alegre: Bookman, 2008. 326 p.
- ATLAS.TI SCIENTIFIC SOFTWARE DEVELOPMENT GMBH. **Atlas.ti Qualitative data analysis**. 1989. Germany: Scientific Software Development GmbH., 2020.
- ATTARAN, Mohsen. Additive Manufacturing: The Most Promising Technology to Alter the Supply Chain and Logistics. **Journal of Service Science and Management** v. 10, n. 03, p. 189-206, 2017.
- BABICEANU, Radu F.; SEKER, Remzi. Big Data and virtualization for manufacturing cyber-physical systems: A survey of the current status and future outlook. **Computers in Industry**, v. 81, n. 2015, p. 128-137, 2016.
- BAI, Chunguang *et al.* Evaluating ecological sustainable performance measures for supply chain management. **Supply Chain Management** v. 17, n. 1, p. 78-92, 2012.

BAJIC, Bojana *et al.* Edge computing vs. Cloud computing: Challenges and opportunities in industry 4.0. **Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium**, v. 30, n. 1, p. 864-871, 2019.

BANDARIAN, Reza. Exploiting value chain process concepts in research organisations. **International Journal of Value Chain Management**, v. 2, n. 3, p. 400-416, 2008.

BARDIN, Lawrence. **Análise de Conteúdo**. São Paulo: Edição 70, 2016.

BAYRAM, Barış; İNCE, Gökhan. Advances in Robotics in the Era of Industry 4.0. **Industry 4.0: Managing The Digital Transformation**. Switzerland: Springer, 2018. p. 187-198.

BERGER, Roland. The Industrie 4.0 transition quantified. **Think Act**, v. Apr., p. 1-18, 2016.

BERMAN, Barry. 3-D printing: The new industrial revolution. **Business Horizons**, v. 55, n. 2, p. 155-162, 2012.

BIBBY, Lee; DEHE, Benjamin. Defining and assessing industry 4.0 maturity levels – case of the defence sector. **Production Planning and Control**, v. 29, n. 12, p. 1030-1043, 2018.

BOWMAN, Cliff; AMBROSINI, Véronique. Value Creation Versus Value Capture: Towards a Coherent Definition of Value in Strategy. **British Journal of Management**, v. 11, n. 1, p. 1-15, 2000.

BOYER, Kenneth K.; LEWIS, Marianne W. Competitive priorities: Investigating the need for trade-offs in operations strategy. **Production and Operations Management**, v. 11, n. 1, p. 9-20, 2002.

BRANDENBURGER, A. M.; STUART, Harborne W. Value-Based Business Strategy. **Journal of Economics & Management Strategy**, v. 5, n. 1, p. 5-24, 1996.

BRETTEL, Malte *et al.* How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. **International Journal of Information and Communication Engineering**, v. 8, n. 1, p. 37-44, 2014.

BRUNER, Jon. **Industrial Internet**. United States of America.: O'Reilly Media, Inc, 2013.

BRUSEBERG, Anne; MCDONAGH-PHILP, Deana. Aquatic resources and recreation behavior. **Applied Ergonomics**, v. 33, p. 27-38, 2002.

BUNDY, Alan. **Preparing for the future of Artificial Intelligence**. WASHINGTON, D.C.: Springer, 2017. 285-287 p.

BURGER, Niklas *et al.* Investigating Flexibility as a Performance Dimension of a Manufacturing Value Modeling Methodology (MVMM): A Framework for Identifying Flexibility Types in Manufacturing Systems. **The 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems Investigating**, v. 63, p. 33-38, 2017.

CASTELLACCI, Fulvio. Technological paradigms, regimes and trajectories: Manufacturing and service industries in a new taxonomy of sectoral patterns of innovation. **Research Policy**, v. 37, n. 6-7, p. 978-994, 2008.

CHASE, R.B. *et al.* **Operations Management for Competitive Advantage**. [S.l.]: McGraw-Hill, 2006.

CHEN, Chun Liang. Value Creation by SMEs Participating in Global Value Chains under Industry 4.0 Trend: Case Study of Textile Industry in Taiwan. **Journal of Global Information Technology Management**, v. 22, n. 2, p. 120-145, 2019.

CHEN, Min; MAO, Shiwen; LIU, Yunhao. Big data: A survey. **Mobile Networks and Applications**, v. 19, n. 2, p. 171-209, 2014.

CHEN, Yen-Tsang *et al.* Does the competitive orientation really lead to emphasis on different internal capabilities? **International Journal of Operations & Production Management Does**, v. 35, n. 7, p. 1075-1096, 2015.

CNI. **Investimentos na indústria 2020-2021**: Confederação Nacional da Indústria. Brasília: [s.n.], 2021. p. 12.

COBO, M.J *et al.* Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, v. 62, n. 7, p. 1382-1402, 2011.

COGLIATI, Dario *et al.* **Intelligent Cyber-Physical Systems for Industry 4.0**. Laguna Hills, CA: IEEE Computer Society, 2018.

COLE, Robert *et al.* **Being proactive**: Where action research meets design research. Las Vegas: International Conference on Information Systems, ICIS, 2005. p.325-336.

COOPER, Donald R.; SCHINDLER, Pamela S. **Métodos de Pesquisa em Administração**. Porto Alegre: Bookman, 2016. 681 p.

CORBETT, Charles; WASSENHOVE, Luk Van. Trade-Offs? What Trade-Offs? Competence and Competitiveness in Manufacturing Strategy. **California Management Review**, v. 35, n. 4, p. 107-122, 1993.

CORRÊA, Henrique Luiz; CORRÊA, Carlos A. **Administração de Produção e Operações**. 4. ed. São Paulo: Atlas S.A, 2017.

CORRÊA, Henrique Luiz; XAVIER, Lucia Helena. Concepts, design and implementation of Reverse Logistics Systems for Sustainable Supply Chains in Brazil. **Journal of Operations and Supply Chain Management**, v. 6, n. 1, p. 1-25, 2013.

CRAFTS, Nicholas F.R. New Growth Theory And Economic History: The First Industrial Revolution : A Guided Tour for Growth Economists. **American Economic Review**, v. 86, n. 2, p. 197-201, 1996.

D'AVENI, Richard. THE 3-D PRINTING REVOLUTION. **Harvard Business Review**, v. 93, n. 5, p. 40-48, maio 2015.

D'AVENI, Richard A.; GUNTHER, Robert. Hypercompetition. Managing the Dynamics of Strategic Maneuvering. **Das Summa Summarum des Management**, p. 83-93, 1994.

DALENOGARE, Lucas Santos *et al.* The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. **International Journal of Production Economics**, v. 204, n. Dec. 2017, p. 383-394, 2018.

DATHEIN, Ricardo. **Inovação e Revoluções Industriais**: uma apresentação das mudanças tecnológicas determinantes nos séculos XVIII e XIX. Porto Alegre: DECON/UFRGS, 2003.

DAVID, M. Gligor; HOLCOMB, Mary G. Understanding the Role of Logistics Capabilities in Achieving Supply Chain Agility: A Systematic Literature Review. **Supply Chain Management**, v. 17, p. 438-453, 2012.

DELGADILLO AYA, Claudia *et al.* Metodología para la priorización de tecnologías emergentes de recobro mejorado químico. **Fuentes**: El reventón energético, v. 16, n. 2, p. 41-53, 2018.

DING, Shenglan; BAO, Xiulan. A 3D Printing Practice for Preoperative Rehearsal Based on the Additive and Subtractive Manufacturing. **Journal of Mechanics in Medicine and Biology**, v. 16, n. 08, p. 1640031, 2016.

DIXIT, Avinash K.; PINDYCK, Robert S. A New View of Investment. **Investment under Uncertainty**, p. 3-25, 2019.

DIXON, Donald F. Marketing as Production : The Development of a Concept Marketing as Production: The Development of a Concept. **Journal of the Academy of Marketing Science**, v. 18, p. 337-343, 2008.

DOPICO, Miguel *et al.* **A vision of industry 4.0 from an artificial intelligence point of view**. Las Vegas: Proceedings of the 2016 International Conference on Artificial Intelligence, 2016. p.407-413.

DRESCH, Aline. **Design Science e Design Science Research como Artefatos Metodológicos para Engenharia de Produção**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) -- Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, 2013. 184 p.

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; ANTUNES JR., José Antônio Valle. **Design Science Research: A Method for Science and Technology Advancement**. London: Springer, 2015.

ECONOMIA, Ministério da. **MDIC e ABDI lançam Agenda Brasileira para a Indústria 4.0 no Fórum Econômico Mundial**. 2018. Disponível em: <[www.mdic.gov.br/index.php/ultimas-noticias/3133-mdic-e-abdi-lancam-agenda-brasileira-para-a-industria-4-0-no-forum-economico-mundial%0D](http://www.mdic.gov.br/index.php/ultimas-noticias/3133-mdic-e-abdi-lancam-agenda-brasileira-para-a-industria-4-0-no-forum-economico-mundial%0D)>. Acesso em: 7 jul. 2019.

EISENHARDT, Kathleen M. Building Theories from Case Study Research. **Academy of Management Review**, v. 14, n. 4, p. 532-550, 1989.

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

EY. **Transfer Pricing Documentation** - Ensinger Group. Germany: Ernst & Young Global Limited., 2015.

FARISH, Mike. A new dimension. **Automotive Manufacturing Solutions**, v. 16, n. 4, p. 58-59, jul. 2015.

FAWCETT, Stanley E.; WALLER, Matthew A. Supply chain game changers-mega, nano, and virtual trends-and forces that impede supply chain design. **Journal of Business Logistics**, v. 35, n. 3, p. 157-164, 2014.

FERDOWS, Kasra; DE MEYER, Arnoud. Lasting improvements in manufacturing performance: In search of a new theory. **Journal of Operations Management**, v. 9, n. 2, p. 168-184, 1990.

FERNANDEZ-CARAMES, Tiago M.; FRAGA-LAMAS, Paula. A Review on the Application of Blockchain to the Next Generation of Cybersecure Industry 4.0 Smart Factories. **IEEE Access**, v. 7, p. 45201-45218, 2019.

FINE, Charles H.; HAX, Arnaldo C. Manufacturing Strategy: a Methodology and an Illustration. **Interfaces**, v. 15, n. 6, p. 28-46, 1985.

FISCHER, Christian; GREGOR, Shirley. Forms of Reasoning in the Design Science Research Process Christian. **Desrist**, v. LNCS 6629, p. 17-31, 2011.

FLEURY, Afonso; FLEURY, Maria Tereza. Competitive strategies and core competencies: Perspectives for the internationalisation of industry in Brazil. **Integrated Manufacturing Systems**, v. 14, n. 1, p. 16-25, 2003.

FORD, Sharon L N. Additive Manufacturing Technology: Potential Implications for U . S . Manufacturing Competitiveness. **Journal of International Commerce and Economics (USA)**, v. 6, n. Sep., p. 1-35, 2014.

FRANK, Alejandro Germán *et al.* Servitization and Industry 4.0 convergence in the digital transformation of product firms: A business model innovation perspective. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 141, p. 341-351, 2019.

FRANK, Alejandro Germán; DALENOGARE, Lucas Santos; AYALA, Néstor Fabián. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. **International Journal of Production Economics**, v. 210, n. January, p. 15-26, 2019.

FRAZIER, William. Metal Additive Manufacturing: A Review. **Journal of Materials Engineering & Performance**, v. 23, n. 6, p. 1917-1928, jun. 2014.

GARDINER, Ginger. 3D Printing: Niche or next step to manufacturing on demand? **Composites Technology**, v. 1, n. 5, p. 42-47, maio 2015.

GARVIN, David A. Competing on the Eight Dimensions of Quality. **Harvard Business Review**, v. 65, n. 6, p. 101-109, 1987.

GATIAN, Katherine N.; MAVRIS, Dimitri N. **Facilitating technology development progression through quantitative uncertainty assessments**. Atlanta: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2014. p.1-16.

GONZALEZ-BENITO, Javier; LANNELONGUE, Gustavo. An integrated approach to explain the manufacturing function's contribution to Business Performance. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 34, n. 9, p. 1126-1152, 2014.

GREGOR, Shirley; HEVNER, Alan R. Positioning and presenting design science research for maximum impact. **MIS Quarterly: Management Information Systems**, v. 37, n. 2, p. 337-355, 2013.

GRYNOL, B. Disruptive manufacturing The effects of 3D printing Headline Content. **Deloitte**, p. 20, 2012.

HAYES, R.H.; WHEELWRIGHT, Steven C. On behalf of the skolemite. **Analysis (United Kingdom)**, v. 30, 1985.

HAYES, R *et al.* *Produção, Estratégia e Tecnologia: Em Busca da Vantagem Competitiva*. Porto Alegre: Bookman, 2008. 384 p. HAYES, Robert *et al.* **Operations, Strategy and Technology – Pursuing the Competitive Edge**. New York: John Wiley & Sons Inc., 2005.

HAYES, R. *et al.* **Produção, Estratégia e Tecnologia: Em Busca da Vantagem Competitiva**. Porto Alegre: Bookman, 2008. 384 p.

HAYES, Robert H; WHEELWRIGHT, Steven C.; CLARK, Kim B. **Dynamic Manufacturing**. New York: The Free Press, 1988.

HEAVIN, Ciara; POWER, Daniel J. Challenges for digital transformation—towards a conceptual decision support guide for managers. **Journal of Decision Systems**, v. 27, p. 38-45, 2018.

HERMANN. Mario *et al.* Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review Competence Center Corporate Data Quality (CC CDQ) View project Industrial Data Space View project Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. **49th Hawaii International Conference on System Competence Center Corporate Data Quality (CC CDQ)**, Dortmund: [s.n.], n.1, 2015.

HEUTGER, Matthias; KÜCKELHAUS, Markus. **Unmanned Aerial Vehicles in Logistics (DHL Perspective)**. Troisdorf, Germany: [s.n.], 2014.

HEVNER, Alan R *et al.* Design Science in Information Systems Research. **Management Information Systems**, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004.

HIDAYATNO, Akhmad; RAHMAN, Irvanu; RAHMADHANI, Ashania. **Understanding the systemic relationship of industry 4.0 adoption in the Indonesian food and beverage industry**. Hong Kong: Association for Computing Machinery, 2019. p.344-348.

HUANG, Samuel H. *et al.* Additive manufacturing and its societal impact: A literature review. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 67, n. 5-8, p. 1191-1203, 2012.

HUM, Sin-Hoon; LEOW, Lay-Hong. Strategic manufacturing effectiveness - An empirical study based on the Hayes-Wheelwright framework. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 16, n. 4, p. 4-18, 1996.

HUSSAIN, Matloub *et al.* Competitive priorities and knowledge management: An empirical investigation of manufacturing companies in UAE. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 26, n. 6, p. 791-806, 2015.

IBARRA, Dorleta; GANZARAIN, Jaione; IGARTUA, Juan Ignacio. Business model innovation through Industry 4.0: A review. **Procedia Manufacturing**, v. 22, p. 4-10, 2018.

IBM SPSS. **IBM SPSS Statistics.21**. [S.l: s.n.], 2020.

IEDI. **As economias emergentes face à indústria 4.0** - Edição 899. Disponível em: <[https://iedi.org.br/cartas/carta\\_iedi\\_n\\_899.html](https://iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_899.html)>. Acesso em: 3 out. 2021.

JAIN, Bhurchand; ADIL, Gajendra K.; ANANTHAKUMAR, Usha. An instrument to measure factors of strategic manufacturing effectiveness based on Hayes and Wheelwright's model. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 24, n. 6, p. 812-829, 2013.

JIANG, Jehn Ruey. An improved cyber-physical systems architecture for Industry 4.0 smart factories. **Advances in Mechanical Engineering**, v. 10, n. 6, p. 1-15, 2018.

KAGERMANN, Henning; LUKAS, Wolf-Dieter; WAHLSTER, Wolfgang. Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. **VDI Nachrichten**, n. 13, p. 3-4, 2015.

KAGERMANN, Henning; WAHLSTER, Wolfgang; HELBIG, Johannes. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. **Deutsche Akademie Der Technikwissenschaften**, n. Apr., 2013.

KANG, Jinwon; KIM, Jong Seok; SEOL, Seonmi. The prioritization of technologies and public R&D roles between the manufacturing and service industries in the fourth industrial revolution. **Foresight**, v. 21, n. 6, p. 680-694, 2019.

KASANEN, Eero; LUKKA, Kari; SIITONEN, Arto. The Constructive Approach in Management Accounting Research. **Journal of Management Accounting Research**, v. 5, p. 243-264, 1993.

KHAN, Maqbool *et al.* Big data challenges and opportunities in the hype of Industry 4.0. **IEEE International Conference on Communications**, p. 1-6, 2017.

KIM, Jin S.; WEN, H. Joseph; RICH, John. A scoring method for prioritizing non-mutually-exclusive information technologies. **Human Systems Management**, v. 28, n. 1-2, p. 1-17, 2009.

KLINGENBERG, Cristina Orsolin; BORGES, Marco Antônio Viana; ANTUNES, José Antônio Valle. Industry 4.0 as a data-driven paradigm: a systematic literature review on technologies. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2019.

KOTHANDARAMAN, Prabakar; WILSON, David T. The Future of Competition: Value-Creating Networks. **Industrial Marketing Management**, v. 30, n. 4, p. 379-389, 2001.

LASI, Heiner *et al.* Industry 4.0. **Business and Information Systems Engineering**, v. 6, n. 4, p. 239-242, 2014.

LECKLIDER, Tom. 3D printing drives automotive innovation. **EE: Evaluation Engineering**, v. 56, n. 1, p. 16-19, 2017.

LEE, Jay *et al.* Industrial Artificial Intelligence for industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing Letters**, v. 18, p. 20-23, 2018.

LEE, Jay; BAGHERI, Behrad; KAO, Hung An. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing Letters**, v. 3, p. 18-23, 2015.

LEE, Youngsu; RIM, Suk Chul. Quantitative Model for Supply Chain Visibility: Process Capability Perspective. **Mathematical Problems in Engineering**, 2016.

LI, Bo; LI, Yulong. Internet of things drives supply chain innovation: A research framework. **The International Journal of Organizational Innovation**, v. 9, n. 3, p. 71-93, 2017.

LIEBRECHT, Christoph *et al.* Multi-criteria Evaluation of Manufacturing Systems 4.0 under Uncertainty. **Procedia CIRP**, v. 63, p. 224-229, 2017.

LIRA, Ana Claudia de Queiroz; GOMES, Maria de Lourdes Barreto; CAVALCANTI, Vladyr Yuri Soares de Lima. Modelo de alinhamento estratégico de produção – MAP: contribuição teórica para a área de estratégia de produção. **Production**, v. 25, n. 2, p. 416-427, 2015.

LITTEL, Julia h.; CORCORAN, Jacqueline; PILLAI, Vijayan. **No Title Systematic Reviews and Meta-Analysis**. New York: Oxford University Press, 2008.

LIU, Changhong; ZHONG, Ray Y. Internet of things for manufacturing in the context of industry 4.0. **Advances in Transdisciplinary Engineering**, v. 5, p. 1013-1022, 2017.

LOM, Michal; PRIBYL, Ondrej; SVITEK, Miroslav. **Industry 4.0 as a part of smart cities**. Prague: IEEE, 2016. p.2-7.

LONG, Yunguang *et al.* 3D printing technology and its impact on Chinese manufacturing. **International Journal of Production Research**, v. 7543, n. Jan., p. 1-10, 2017a.

LONG, Yunguang *et al.* 3D printing technology and its impact on Chinese manufacturing. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 5, p. 1488-1497, 2017b.

MAKHADO, Mbongiseni; SUKDEO, Nita. Advanced manufacturing: The key to future competitiveness in the automotive industry. **Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management**, v. 2018, n. JUL, p. 687-697, 2018.

MANZINI, R. *et al.* Framework for designing a flexible cellular assembly system. **International Journal of Production Research**, v. 42, n. 17, p. 3505-3528, 2004.

MARCH, Salvatore T.; SMITH, Geraldo F. on Botryoid Sarcoma (Mesodermal Mixed Tumor) in the Perineal Region in Infant. **Decision Support Systems**, v. 15, n. 4, p. 251-266, 1995.

MARCONI, Maria; LAKATOS, Eva. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas S.a, 2003.

MARTÍNEZ-OLVERA, César; MORA-VARGAS, Jaime. A comprehensive framework for the analysis of Industry 4.0 value domains. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 10, p. 1-21, 2019.

MCAFEE, Andrew; BRYNJOLFSSON, Erik. Big data: The Management Revolution. **Harvard Business Review**, p. 561-566, 2012.

MEHNEN, Jörn *et al.* Security Aspects of the Internet of Things. **Springer**, p. 225-242, 2017.

MELACHRINOUDIS, Emanuel; RICE, Ken. The Prioritization of Technologies in a Research Laboratory. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 38, n. 3, p. 269-278, 1991.

MERLINO, Massimo; SPROGE, Ilze. The Augmented Supply Chain. **Procedia Engineering**, v. 178, p. 308-318, 2017.

MILES, Ian; SARITAS, Ozcan; SOKOLOV, Alexander. **Foresight for Science, Technology and Innovation**. Switzerland: Springer, 2016.

MILTENBURG, John. Setting manufacturing strategy for a factory-within-a-factory. **International Journal of Production Economics**, v. 113, n. 1, p. 307-323, 2008.

MISHRA, Sandipan. Helping additive manufacturing 'learn'. **Metal Powder Report**, v. 68, n. 4, p. 38-39, jul. 2013.

MIZZARO, Stefano. Relevance: The whole history. **Journal of the American Society for Information Science**, v. 48, n. 9, p. 810-832, 1997.

MORANDI, Maria Isabel Wolf Motta; CAMARGO, Luis Felipe Riehs. Revisão Sistemática da Literatura. In: DRESCH, Aline *et al.* (Orgs.). **Design Science Research: Método de Pesquisa para Avanço da Ciência e Tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015. p. 141-172.

NARKHEDE, Balkrishna Eknath. Advance manufacturing strategy and firm performance: An empirical study in a developing environment of small- and medium-sized firms. **Benchmarking**, v. 24, n. 1, p. 62-101, 2017.

NELSON, By Jake W *et al.* **Injection Molding with an**. n. Aug., 2017.

NONAKA, Ikujiro; TEECE, David J. **Managing Industrial Knowledge**. London: SAGE Publications, 2001.

NORMANN, Richard; RAMIREZ, Rafael. From value chain to value constellation: Designing interactive strategy. **Harvard business review**, v. 71, n. 4, p. 65-77, 1993.

OECD. **The Next Production Revolution**. Paris: [s.n.], 2017.

ORTEGA, Cesar H.; GARRIDO-VEGA, Pedro; MACHUCA, Jose Antonio Dominguez. Analysis of interaction fit between manufacturing strategy and technology management and its impact on performance. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 32, n. 8, p. 958-981, 2012.

OSTERWALDER, A; PIGNEUR, Y. **Business Model Generation - Inovação em Modelos de Negócios: um manual para visionários, inovadores e revolucionários**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2011.

OSTERWALDER, Alexander. **The Business Model Ontology a Proposition in a Design Science Approach**. 2004. 55 p.

OZTEMEL, Ercan; GURSEV, Samet. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. **Journal of Intelligent Manufacturing**, 2018.

PAIVA, E. L.; CARVALHO JR., J. M.; FENSTERSEIFER, J. E. **Estratégia de Produção e Operações: Conceitos, Melhores Práticas, Visão de Futuro**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

PEFFERS, Ken *et al.* A design science research methodology for information systems research. **Journal of Management Information Systems**, v. 24, n. 3, p. 45-77, 2007.

PEREZ, Carlota; ELGAR, Edward. **Technological Revolutions and Financial Capital: The Dynamics of Bubbles and Golden**. Northampton: Edward Elgar Publishing, Inc, 2002.

PETRICK, Irene J.; SIMPSON, Timothy W. 3D Printing Disrupts Manufacturing. **Research Technology Management**, v. 56, n. 6, p. 12-16, nov. 2013.

PICCAROZZI, Michela; AQUILANI, Barbara; GATTI, Corrado. Industry 4.0 in management studies: A systematic literature review. **Sustainability**, v. 10, n. 10, 2018.

PICKETT, Leah. 3-D PRINTING: THE NEW NORMAL. **Appliance Design**, v. 63, n. 2, p. 18-21, fev. 2015.

PÎRJAN, Alexandru; PETROȘANU, Dana-Mihaela. The impact of 3d printing technology on the society and economy. **Journal of Information Systems and Operations Management**, v. 7, n. 2, p. 360-370, 2013.

PLÁSTICO, Mundo do. **5 tendências globais sobre plástico para acompanhar**. Disponível em: <<https://mundodoplastico.plasticobrasil.com.br/oportunidades/5-tendencias-globais-sobre-plastico-para-acompanhar>>. Acesso em: 5 dez. 2021.

PLATTS, K.W. *et al.* Testing manufacturing strategy formulation processes. **International Journal of Production Economics**, v. 56-57, p. 517-523, 1998.

PORTER, Michael E. How Competitive forces shape strategy. **Harvard business review** v. 57, p. 137-145, 1979.

PORTER, Michael E. **Competitive Advantage: creating and sustaining superior performance**. New York: The Free Press, 1985.

PORTER, Michael E. **A vantagem competitiva nas nações**. Rio de Janeiro: Campus, 1993. 897 p.

PORTER, Michael E.; HEPPELMANN, James E. How Smart, Connected Products Are Transforming Competition. **Harvard Business Review**, v. 92, p. 65-88, 2014.

PORTER, Michael E.; HEPPELMANN, James E. How smart, connected products are transforming companies. **Harvard Business Review**, v. 93, n. 10, p. 96-114, 2015.

PORTER, Michael E; MILLAR, Victor E. How information gives you competitive advantage. **Harvard Business Review**, v. 63, n. 4, p. 149, 1985.

PRADO, Millena. **Investimentos em startups com soluções para a indústria 4.0 crescem mais de 400%**. Disponível em: <[https://www.gazetadopovo.com.br/gazz-conecta/startups-com-solucoes-para-a-industria-4-0-captaram-us-61-milhoes-em-investimentos/#:~:text=Startups que oferecem produtos e,em investimentos no último ano.>](https://www.gazetadopovo.com.br/gazz-conecta/startups-com-solucoes-para-a-industria-4-0-captaram-us-61-milhoes-em-investimentos/#:~:text=Startups+que+oferecem+produtos+e,em+investimentos+no+último+ano.>). Acesso em: 2 out. 2021.

PRAHALAD, C. K.; RAMASWAMY, Venkat. Co-creation experiences: The next practice in value creation. **Journal of Interactive Marketing**, v. 18, n. 3, p. 5-14, 2004.

PRINCE, J. Dale. 3D Printing: An Industrial Revolution. **Journal of Electronic Resources in Medical Libraries**, v. 11, n. 1, p. 39-45, jan. 2014.

QUENUM, Armand *et al.* Resilience of business strategy to emergent and future conditions. **Journal of Risk Research**, v. 0, n. 0, p. 1-19, 2019.

RAVICHANDRAN, T.; HAN, Shu; HASAN, Iftekhar. Effects of institutional pressures on information technology investments: An empirical investigation. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 56, n. 4, p. 677-691, 2009.

RAY, Partha Pratim. Internet of Robotic Things: Concept, Technologies, and Challenges. **IEEE Access**, v. 4, p. 9489-9500, 2016.

RAYNA, Thierry; STRIUKOVA, Ludmila. From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 102, p. 214-224, 2016.

RHO, Boo Ho; PARK, Kwangtae; YU, Yung Mok. International comparison of the effect of manufacturing strategy-implementation gap on business performance. **International Journal of Production Economics**, v. 70, n. 1, p. 89-97, 2001.

RODIČ, Blaž. Industry 4.0 and the New Simulation Modelling Paradigm. **Organizacija**, v. 50, n. 3, p. 193-207, 2017.

ROHR, S. S; CORREA, H. L. Time-based competitiveness in Brazil: whys and hows. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 18, n. 3, p. 233, 1998.

ROSEN, Roland *et al.* About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing. **IFAC-PapersOnLine**, v. 28, n. 3, p. 567-572, 2015.

ROSENBERG, N. **Por dentro da Caixa Preta**. Campinas: Unicamp, 2006.

RÜBMANN, Michael *et al.* Industry 4.0: World Economic Forum. **The Boston Consulting Group**, p. 1-20, 2015.

RUDTSCH, Vinzent *et al.* Pattern-based business model development for cyber-physical production systems. **Procedia CIRP**, v. 25, n. C, p. 313-319, 2014.

RUHELA, Sonakshi; RIAZ, Sadia. An Intelligent Combination: Assessing the Impact of harmonized Emotional and Artificial Intelligence for the Success of Industry 4.0. **2019 10th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies, ICCCNT 2019**, p. 8-12, 2019.

RÜSSMANN, Michael *et al.* Industry 4.0: World Economic Forum. **The Boston Consulting Group**, p. 1-20, 2015.

SABO, Filip. **Industry 4.0 – a Comparison of the Status in Europe and the Usa**. Kufstein Tirol University of Applied Sciences, 2015. 33 p.

SAUNDERS, M.; LEWIS, P.; HORNHILL, A. **Research Methods for Business Students**. Londres: Prattice Hall, 2009.

SAUNDERS, Mark; LEWIS, Philip; THORNHILL, Adrian. **Research Methods for Business Students**. 70. ed. England: Always Learning, 2016.

SAUTER, Ralf; BODE, Maximilian; KITTELBERGER, Daniel. How Industry 4.0 Is Changing How We Manage Value Creation. **Horvárt**, n. 1, p. 3-11, 2015.

SCANNELL, Thomas V.; CALANTONE, Roger J.; MELNYK, Steven A. Shop floor manufacturing technology adoption decisions: An application of the theory of planned behavior. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 23, n. 4, p. 464-483, 2012.

SCHMENNER, Roger W.; VASTAG, Gyula. Revisiting the theory of production competence: Extensions and cross-validations. **Journal of Operations Management** v. 24, n. 6, p. 893-909, 2006.

SCHNEIDER, Paul. **Managerial challenges of Industry 4.0: an empirically backed research agenda for a nascent field.** [S.l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2018. 803-848 p. 12 v.

SCHUH, Günther *et al.* Collaboration moves productivity to the next level. **Procedia CIRP**, v. 17, p. 3-8, 2014.

SCHUMPETER, J. A. **The Theory of Economic Development: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest and the Business Cycle.** London: Oxford University Press, 1934.

SCHWAB, Klaus. **A Quarta Revolução Industrial.** São Paulo: Edipro, 2016.

SELLITTO, Miguel Afonso; VARGAS, Elisandro João de. A method to align functionalities of a manufacturing execution system with competitive priorities. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 31, n. 2, p. 353-369, 2019.

SHINGO, Shigeo. **Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-yoke System.** [S.l.]: Cambridge:Productivity Press, 1986.

SIMON, Hebert A. **The Sciences of the Artificial.** Coimbra: The MIT Press, 1981. 153-174 p. 9780262193740.

SKINNER, Wickham. Manufacturing Missing. **Harvard Business Review**, v. 47, n. 3, p. 136-145, 1969.

SKINNER, Wickham. The focused factory. **Harvard Business Review**, v. 52, n. 3, p. 113-121, 1974.

SLACK, Nigel. **Vantagem competitiva em manufatura: atingindo competitividade nas operações industriais.** São Paulo: Atlas, 1993.

SLACK, Nigel. The Importance-Performance Matrix as a Determinant of Improvement Priority. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 14, n. 5, p. 59-75, 1994.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção.** 2. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

SLACK, Nigel; LEWIS, Michael. **Estratégia de Operações.** 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

STARKEY, Ken; MADAN, Paula. Bridging the Relevance Gap: Aligning Stakeholders in the Future of Management Research. **British Journal of Management**, v. 12, n. SPEC. ISS., 2001.

STOCK, T.; SELIGER, G. Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. **Procedia CIRP**, v. 40, n. Icc, p. 536-541, 2016.

SUJOVA, Erika; CIERNA, Helena; BAMBURA, Roman. Simulation model of production as tool for industry 4.0 implementation into practice. **Engineering for Rural Development**, v. 18, p. 1192-1197, 2019.

SUMER, Kerem; BAYRAKTAR, Cahit Ali. Business Strategies and Gaps in Porter's Typology: A Literature Review. **Journal of Management Research**, v. 4, n. 3, 2012.

SZOZDA, Natalia. Industry 4.0 and its impacts on the functioning of supply chains. **Scientific Journal of Logistics**, v. 13, n. 4, p. 401-414, 2017.

TAKEDA, Hideaki *et al.* Modeling Design Processes. **AI Magazine**, v. 11, n. 4, p. 37-48, 1990.

TEIXEIRA, Rafael *et al.* **Estratégia de Produção**: 20 artigos clássicos para aumentar a competitividade da empresa. Porto Alegre: Bookman, 2014.

THAMES, Lane; SCHAEFER, Dirk. **Industry 4.0**: An Overview of Key Benefits, Technologies, and Challenges. [S.l: s.n.], 2017. 1-33 p.

THÜRER, Matthias *et al.* Small manufacturers in Brazil: competitive priorities vs. capabilities. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 74, n. 9-12, p. 1175-1185, 2014.

TOMASZEWSKI, L.A; LACERDA, Daniel Pacheco; TEIXEIRA, Rafael. Estratégia de operações em serviços de saúde preventiva : análise dos critérios competitivos e recomendações operacionais. **Gestão & Produção**, v. 23, n. 2, p. 381-396, 2016.

TREMBLAY, Monica Chiarini; HEVNER, Alan R.; BERNDT, Donald J. Focus Groups for Artifact Refinement and Evaluation in Design Research. **Communications of the Association for Information Systems**, v. 26, 2010.

UNCTAD. **Technology and Innovation Report 2018**: Harnessing Frontier Technologies for Sustainable Development. United Nations Publication [S.l: s.n.], 2018.

USTUNDAG, Alp; CEVIKCAN, Emre. **Industry 4.0: Managing The Digital Transformation**. Istanbul: Springer, 2018.

VACHON, Stephan; HALLEY, Alain; BEAULIEU, Martin. Aligning competitive priorities in the supply chain: The role of interactions with suppliers. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 29, n. 4, p. 322-340, 2009.

VARGO, Stephen L.; MAGLIO, Paul P.; AKAKA, Melissa Archpru. On value and value co-creation: A service systems and service logic perspective. **European Management Journal**, v. 26, n. 3, p. 145-152, 2008.

VEIT, Douglas Rafael. **Impactos da Manufatura Aditiva nos Sistemas Produtivos e suas Repercussões nos Critérios Competitivos**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2018.

VERMA, Deepak Kumar; SHARMA, Tanya. Issues and Challenges in Cloud Computing. **Ijarccce**, v. 8, n. 4, p. 188-195, 2019.

WANG, Shiyong *et al.* Towards smart factory for industry 4.0: A self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. **Computer Networks** v. 101, p. 158-168, 2016.

WANT, Roy. An Introduction to RFID Technology RFID. **IEEE ComSoc**, p. 25-33, 2006.

WEE, Dominik; BAUR, Cornelius. Manufacturing' s next act. **McKinsey & Company&Company**, n. JUNE, p. 1-5, 2015.

WHEELWRIGHT, S.C. Manufacturing strategy: defining the missing link. **Strategic Management Journal**, v. 5, p. 77-91, 1984.

WIERSEMA, Fred; TREACY, Michael. Customer intimacy and other value disciplines. **Harvard business review** v. 71, n. 1, p. 84-93, 1993.

WINTER, Robert. Design science research in Europe. **European Journal of Information Systems**, v. 17, n. 5, p. 470-475, 2008.

WÜBBEKE, Jost; CONRAD, Björn. `Industrie 4.0': Will German Technology Help China Catch Up with the West ? **China Monitor**, p. 1-10, 2015.

XU, Li Da; DUAN, Lian. Big data for cyber physical systems in industry 4.0: a survey. **Enterprise Information Systems**, v. 13, n. 2, p. 148-169, 2019.

XU, Li Da; HE, Wu; LI, Shancang. Internet of things in industries: A survey. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 10, n. 4, p. 2233-2243, 2014.

YAO, Xifan *et al.* From Intelligent Manufacturing to Smart Manufacturing for Industry 4.0 Driven by Next Generation Artificial Intelligence and Further on. **Proceedings - 2017 5th International Conference on Enterprise Systems: Industrial Digitalization by Enterprise Systems**, ES 2017 p. 311-318, 2017.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

## APÊNDICE A - PROTOCOLO DE REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Protocolo da Revisão Sistemática da Literatura: Estratégia de Busca			
<b>Tema Central:</b> O tema central é a Priorização de tecnologias para Indústria 4.0 a partir da Estratégia de Produção com base em Critérios Competitivos. Este tema será utilizado de maneira aberta, pois objetiva-se uma pesquisa mais extensa e a avaliação do maior número de publicações acadêmico-científicas a respeito do tema.			
<b>Framework Conceitual:</b> O Framework para Priorização de Implantação das Tecnologias da I4.0 a partir da Estratégia de Produção vai proporcionar uma melhor discussão de investimentos e de implantação de tecnologias buscando obter vantagem competitiva. A revisão tem como escopo identificar os estudos que contemplem os critérios competitivos relacionados a I4.0.			
<b>Contexto:</b>	Priorização de tecnologias na I4.0 a partir da Estratégia de Produção.		
<b>Horizonte:</b>	Ilimitado		
<b>Correntes Teóricas:</b>	Indústria 4.0.		
<b>Idiomas:</b>	Não será limitado na busca, porém os termos de busca serão em inglês e português. Caso sejam encontrados artigos em outros idiomas, eles serão traduzidos apenas se o <i>abstract</i> apresente contribuições relevantes para a pesquisa.		
<b>Questão de Revisão:</b> Como seria um framework teórico para a priorização das tecnologias da I4.0 a partir da estratégia de produção para a geração de valor da firma?			
<b>Estratégia de Revisão:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Configurativa <input type="checkbox"/> Agregativa		
<b>Critérios de Seleção:</b>	<b>Critérios de Inclusão</b>		<b>Critérios de Exclusão</b>
	Identificar os critérios competitivos considerados para cada tecnologia da Indústria 4.0 e métodos de priorização que ajudem na construção do <i>framework</i> de priorização de implantação das tecnologias da indústria 4.0.		Documentos Duplicados Documentos fora dos idiomas delimitados (inglês, português e espanhol)
<b>Termos de busca:</b>	Indústria 4.0 AND Critério Competitivo <i>Industry 4.0 AND Competitive Criterion/criteria</i> <i>Advanced Manufacturing AND Competitive Criterion/criteria</i> <i>Industrial Internet AND Competitive Criterion/criteria</i> <i>Smart Manufacturing AND Competitive Criterion/criteria</i>  Indústria 4.0 AND Dimensões Competitivas <i>Industry 4.0 AND Competitive dimensions</i> <i>Advanced Manufacturing AND Competitive dimensions</i> <i>Industrial Internet AND Competitive dimensions</i> <i>Smart Manufacturing AND Competitive dimensions</i>  Indústria 4.0 AND Priorização de tecnologias <i>Prioritisation of technologie AND industry 4.0</i> <i>Prioritization of technologies AND industry 4.0</i> <i>Prioritization of Technologies</i>  <i>System dynamics AND prioritization OR priority</i>		
<b>Fontes de busca</b>			
<b>Bases de dados</b>	<b>Anais</b>	<b>Internet</b>	<b>Outras</b>
<input type="checkbox"/> Periódicos Capes <input checked="" type="checkbox"/> EBSCO <input checked="" type="checkbox"/> Web of Science <input checked="" type="checkbox"/> Scopus/ Elsevier <input checked="" type="checkbox"/> Scielo <input type="checkbox"/> ProQuest <input checked="" type="checkbox"/> Emerald	<input type="checkbox"/> ENEGEP	<input type="checkbox"/> Google Acadêmico	

Fonte: Elaborado pela autora

## APÊNDICE B - CONVITE ENTREVISTA – ETAPA DE PROPOSIÇÃO DO ARTEFATO

### Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas

Prezado(a) Senhor(a),

Me chamo Simone Santos Knak, graduada e mestra em Ciências Contábeis e atualmente sou aluna do curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, nível de Doutorado da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (CV: <http://lattes.cnpq.br/5207082920796054>). Minha pesquisa tem como objetivo propor um **Proposta de um Framework para Priorização de Implantação das Tecnologias da Indústria 4.0 a partir da Estratégia de Produção**, realizado sob a orientação do Prof. Dr. Cristiano Richter (CV: <http://lattes.cnpq.br/4001849220549909>) e sob a coorientação do Prof. Dr. Douglas Rafael Veit (CV: <http://lattes.cnpq.br/0207537000848000>).

Uma das etapas da pesquisa consiste em estabelecer a relação entre os critérios competitivos e as tecnologias da Indústria 4.0. Para realizá-la, gostaria de contar com a sua participação para responder perguntas elencadas abaixo conforme a sua experiência de pesquisa e na área estudada.

#### **Dados da Empresa/ Grupo de Pesquisa/ Consultoria:**

Organização: \_\_\_\_\_

Tipo de Atividade: Grupo de Pesquisa ( ); Consultoria ( ); Outros ( );

#### **Dados de Identificação:**

Respondente:

Área de formação:

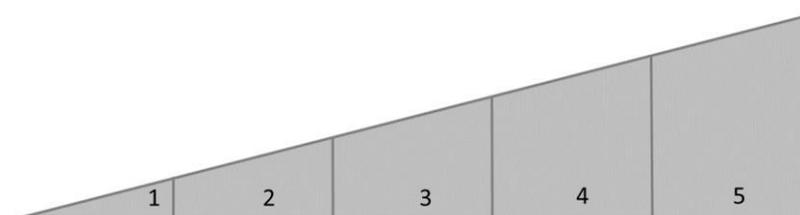
E-mail:

Atividade atual:

Este questionário foi estruturado em três categorias básicas: tecnologias da Indústria 4.0, características das tecnologias da Indústria 4.0 apresentadas anteriormente e 7 (sete) critérios competitivos conforme levantamento na literatura ao longo da pesquisa.

As questões foram organizadas de modo que o respondente deve fazer a relação de quanto cada critério competitivo impacta na tecnologia da indústria 4.0 (característica), conforme escala Likert.

Figura 34 - Escala Likert



Fonte: Elaborado pela autora

Conforme Figura 34, a frequência 1 (um) será utilizada para quando o impacto do critério for menor e 5 (cinco) quando o impacto do critério for maior na tecnologia.

Os espaços em branco verticalmente, ficaram disponibilizados para que os respondentes possam inserir critérios competitivos que identifiquem pertinentes e que a pesquisa não abordou até o presente momento.

Da mesma forma, os espaços horizontalmente em branco, ficam disponibilizados para que os respondentes possam inserir tecnologias da I4.0 que acharem pertinente a serem considerados relevantes, considerando a estratégia de produção e implantação de tecnologias da I4.0.

Agradeço antecipadamente pela atenção e fico na expectativa de um retorno positivo.

Sds.

Simone Santos Knak

e-mail: sknak@unisinov.br ; simone@ensinger.com.br

celular (51) 984168937















<p><b>Aplicadoras</b></p>	<p>Manufatura aditiva</p>	<p>HUANG et al., 2012</p>	<p>Resumidamente a cadeia de suprimentos de peças sobressalentes de aeronaves funciona com um estoque de segurança de peças de reposição padrão que é mantido no armazém da companhia aérea. Essas peças podem ser encomendadas em intervalos regulares de acordo com um plano de manutenção. <del>Resposta os</del> fornecedores devem manter essas peças em estoque, sendo que os estoques desses itens são lentos (ou <del>seu processo</del> demandadas). A compensação é o aumento do custo de entrega. Outro problema está relacionado ao tamanho do lote de produção dessas peças. A tecnologia de produção atual exige que as peças sejam produzidas em lotes grandes para aproveitar a economia de escala. No entanto, para peças de movimento lento, isso significa uma grande quantidade de capital é amarrado na forma de estoque. A tecnologia AM tem potencial para resolver esse problema. Contudo, tendo em vista que a tecnologia AM ainda está em seu estágio de desenvolvimento, apenas uma gama limitada de peças pode ser produzida economicamente. Como resultado, surgem atividades sem valor agregado como o movimento de materiais e a manutenção de estoque, as quais podem ser reduzidas a um mínimo necessário. O resultado é uma cadeia de suprimentos enxuta com baixo custo. Em segundo lugar, AM pode melhorar a capacidade de resposta de forma ágil. Uma estratégia de construção sob encomenda pode ser implementada para garantir que não ocorreria ruptura de estoque. O custo primordial para AM, o que torna econômico localizar as instalações de produção perto dos clientes finais. Além disso, é possível personalizar produtos para atender às necessidades individuais dos clientes. Isso irá facilitar a implementação de uma estratégia de construção sob encomenda e aumentar a capacidade de resposta.</p>											
<p><b>Aplicadoras</b></p>	<p>Manufatura aditiva</p>	<p>HASAN; RENNIE, 2008</p>	<p>Usar a capacidade AM centralizada para substituir a manutenção de estoque, tendo em vista que máquinas de AM são implantadas em centros de distribuição centralizados para produzir peças sobressalentes sob demanda. Produzindo peças de forma centralizada se tem a vantagem de agregar a demanda de vários locais de serviço regionais para garantir que <u>o investimento e a capacidade de AM seja</u> bem utilizada. A desvantagem é que as peças produzidas precisam ser enviadas para os serviços locais, o que resulta no aumento do tempo de resposta. Para certas peças que são necessárias na manutenção de primeira linha, o estoque ainda precisa ser transportado nos locais de serviço. A abordagem centralizada é desejável quando as peças que podem ser produzidas usando AM são limitadas e a resposta <del>necessária</del> de tempo não é crítico.</p>											
<p><b>Aplicadoras</b></p>	<p>Manufatura aditiva</p>	<p>HASAN; RENNIE, 2008</p>	<p>A AM é distribuída sendo implantada em cada local de serviço, e é adequada quando a demanda de peças produzíveis em AM é suficientemente alta para justificar o investimento em nesta capacidade. A vantagem é a eliminação de manutenção de estoque e custos de transporte e um tempo de resposta rápido.</p>											







Integradoras	Simulação	RODIČ, 2017	A evolução da simulação movimenta-se para otimização da integração de modelos de simulação em ferramentas de suporte a decisões para utilização de modo recorrente.															
Integradoras	Simulação	Bouska et al. 2015b	A simulação é utilizada para decisões de projeto, testes e validações de sistemas completos.															
Integradoras	Simulação	RODIČ, 2017; ROSEN et al., 2015b	A tendência é que a simulação avance para as próximas fases do ciclo de vida de um projeto, como apoiar a operação e funcionalidade do produto ou sistema por meio de simulação orientada.															
Integradoras	Simulação	ROSEN et al., 2015b	O digital twin é a próxima tendência na tecnologia de modelagem, simulação e otimização. O digital twin é a simulação onde está representada a produção real, utilizando os dados de entrada, execução e saída do sistema real, monitorados continuamente.															
Integradoras	Simulação	RODIČ, 2017	Um Digital Twin também pode ser usado para identificar problemas potenciais com seu contador de máquina real. Um modelo de física de alta fidelidade rodando em paralelo com a máquina real pode indicar imediatamente um mau funcionamento potencial na máquina real por detecção de um desvio entre o desempenho da máquina e o comportamento do modelo. A informação pode ser usada para parar e fazer a manutenção da máquina com defeito ou usar o modelo para fornecer uma estratégia de compensação para uma diminuição no desempenho sem desacelerar ou até mesmo parando a produção.															
Integradoras	Veículos autônomos	FAWCETT; WALLER, 2014	Veículos autônomos poderão substituir os motoristas tradicionais. Nesse aspecto observa-se as grandes empresas, como Google, Mercedes e Nissan que concentraram seus esforços para promover a tecnologia do veículo autônomo.															
Integradoras	Veículos autônomos	STOCK; SELIGER, 2018b	Veículos autônomos e inteligentes serão capazes de percorrer um trajeto do início ao fim autonomamente, além de, quando necessário, reagir rapidamente a eventos inesperados que ocorram durante o percurso.															
Integradoras	Veículos autônomos	HEUTGER; KÜCKELHAUS, 2014	O drone é um veículo aéreo não tripulado que pode oferecer velocidade, flexibilidade e facilidade no serviço de entrega ao consumidor.															
(espaço livre para o respondente)																		
(espaço livre para o respondente)																		
(espaço livre para o respondente)																		
(espaço livre para o respondente)																		
(espaço livre para o respondente)																		

Legenda:

ELR: Espaço Livre para o Respondente

## APÊNDICE D – LISTA DE ENTREVISTADOS – GRUPOS DE PESQUISAS

Nome do Grupo de Pesquisa	Universidade	Linha de Pesquisa	Cidade/Estado	E-mail:	Pesquisador
GPCAM- Grupo de Pesquisa em manufatura auxiliada por computador	UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina	Indústria 4.0.	Joinville - SC	<a href="mailto:grupo.gpcam@gmail.com">grupo.gpcam@gmail.com</a> <a href="mailto:adriano.fagali@ufsc.br">adriano.fagali@ufsc.br</a>	Não informado
NEO - Núcleo de Engenharia Organizacional	UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Indústria 4.0 e Digitalização	Porto Alegre - RS	<a href="mailto:neo@producao.ufrgs.br">neo@producao.ufrgs.br</a> <a href="mailto:frank@producao.ufrgs.br">frank@producao.ufrgs.br</a>	Não informado
NEAI 4.0 (Núcleo de Estudos Aplicados em Indústria 4.0)	UFPEL - Universidade Federal de Pelotas	Indústria 4.0	Pelotas - RS	<a href="mailto:neai4.0ufpel@gmail.com">neai4.0ufpel@gmail.com</a>	Não informado
Desenvolvimento de Abordagens para a Indústria 4.0	Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG	Indústria 4.0	Frutal - MG	<a href="mailto:gerald.correa@uemg.br">gerald.correa@uemg.br</a>	Não informado
INOVA.USP	USP - Universidade de São Paulo	Inovação	São Paulo - SP	<a href="mailto:inovausp@usp.br">inovausp@usp.br</a>	Não informado
Inovação e Ambientes Organizacionais	UNISUL	Inovação e Sociedade	Pedra Branca - SC	<a href="mailto:ppga@unisul.br">ppga@unisul.br</a> <a href="mailto:ivone.junges@unisul.br">ivone.junges@unisul.br</a>	Ivove Junges
Sensoriamento Industrial no Contexto da Industria 4.0	UTFPR	Inovação	Cornélio Procópio - PR	<a href="mailto:wagnergodoy@utfpr.edu.br">wagnergodoy@utfpr.edu.br</a>	Wagner Fontes Godoy
Programa de Manufatura Inteligente	UTFPR	Inovação	Curitiba-PR	<a href="mailto:borsato@utfpr.edu.br">borsato@utfpr.edu.br</a>	Milton Borsato
Automação Industrial Sujeita ao Reconhecimento e à Manipulação de Contextos	UTFPR	Inovação	Pato Branco - PR	<a href="mailto:mtex@utfpr.edu.br">mtex@utfpr.edu.br</a>	Marcelo Teixeira
GETIN - Grupo de Estudos e Pesquisa em Tecnologia e Inovação	UEL - Universidade Estadual de Londrina	Inovação	Londrina - PR	<a href="mailto:getin@uel.br">getin@uel.br</a>	Altibano Ortenzi Junior
Grupo de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão Aplicada em Desenvolvimento Sustentável	UFMS - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul	Inovação	Campo Grande - MS	<a href="mailto:sergio.paiva@ufms.br">sergio.paiva@ufms.br</a>	Sérgio Paiva
BioProdução	UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná	Inovação	Ponta Grossa - PR	<a href="mailto:piekarski@utfpr.edu.br">piekarski@utfpr.edu.br</a>	Cassiano Moro Pekariski, Antonio Carlos de Francisco
Grupo de Pesquisas em Instrumentação e Medição Aplicada	IFSC - Instituto Federal de Santa Catarina	Indústria 4.0	Itajaí - SC	<a href="mailto:roddy.romero@ifsc@edu.br">roddy.romero@ifsc@edu.br</a>	Roddy Alexander Romero Antayhua, Luis Fernando Pozas

NUPEI - Núcleo de Pesquisa em Ecossistemas de Inovação	UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina	Inovação	Florianópolis - SC	<a href="mailto:gabriela.fiates@ufsc.br">gabriela.fiates@ufsc.br</a>	Gabriela Gonçalves Silveira Fiates, Cristina Martins
Additive Manufacturing and Automation Research Center	UFSCAR - Universidade Federal de São Carlos	Indústria 4.0	São Carlos - SP	<a href="mailto:gustavofb@ufscar.br">gustavofb@ufscar.br</a>	Gustavo Franco Barbosa, Sidney Bruce Shiki
Caracterização de Materiais Inorgânicos e Estudos sobre Produções Industriais Inteligentes	UFCA - Universidade Federal do Cariri	Indústria 4.0	Juazeiro do Norte - CE	<a href="mailto:laedna.neiva@ufca.edu.br">laedna.neiva@ufca.edu.br</a>	Laédna Souto Neiva, Maria Isabel Nrasileiro Rodrigues
Ciência de Dados	UEMG - Universidade do Estado de Minas Gerais	Indústria 4.0	Frutal - MG	<a href="mailto:geraldo.correa@uemg.br">geraldo.correa@uemg.br</a>	Geraldo Nunes Corrêa
Controle e Automação	UFU - Universidade Federal de Uberlândia	Indústria 4.0	Uberlândia - MG	<a href="mailto:aniel@ufu.br">aniel@ufu.br</a>	Aniel Silva de Moraes, Daniel Costa Ramos
Desenvolvimento de Sistemas de Automação e Ambientes Inteligentes	UFAM - Universidade Federal do Amazonas	Indústria 4.0	Manaus - AM	<a href="mailto:vicente@ufam.edu.br">vicente@ufam.edu.br</a>	Vicente Ferreira de Lucena Junior, João Edgar Chaves Filho
Direito, Inovação e Tecnologia	MACKENZIE - Universidade Presbiteriana Mackenzie	Indústria 4.0	Campinas - SP	<a href="mailto:francesca.columbu@mackenzie.br">francesca.columbu@mackenzie.br</a>	Franceca Columbu
GITES: Gestão, Inovação, Tecnologia, e Educação Socioambiental	IFTO - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins	Indústria 4.0	Araguaína- TO	<a href="mailto:mateus.agnol@ifto.edu.br">mateus.agnol@ifto.edu.br</a>	Mateus Dall'Agnol, Mário de Souza Lima e Silva
GPI4 - Grupo de Pesquisa em Indústria 4.0	IFSP- Instituto Federal de São Paulo	Indústria 4.0	Sorocaba - SP	<a href="mailto:vitor.caldana@ifsp.edu.br">vitor.caldana@ifsp.edu.br</a>	Vitor Mendes Caldana
GPIPP - Grupo de Pesquisa em Inovação, projetos e processos	Unb - Universidade de Brasília	Indústria 4.0	Brasília - DF	<a href="mailto:sandersoncesar@unb.br">sandersoncesar@unb.br</a>	Sanderson Cesar Macedo Barbalho
GPTEC - Grupo de Pesquisa em Tecnologias Eletroeletrônicas e Computacionais	IFRS - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul	Indústria 4.0	Rio Grande - RS	<a href="mailto:leonardo.soares@riogrande.ifrs.edu.br">leonardo.soares@riogrande.ifrs.edu.br</a>	Leonardo Bandeira Soares
Group of Ergonomics and New Tools	UFAL - Universidade Federal de Alagoas	Indústria 4.0	Delmiro Gouveia - AL	<a href="mailto:jonhatanmagno@hotmail.com">jonhatanmagno@hotmail.com</a>	Jonhatan Magno Norte da Silva
Grupo de Automação de Sistemas e Robótica	UDESC - Universidade do Estado de Santa Catarina	Indústria 4.0	Joinville - SC	<a href="mailto:andre.leal@udesc.br">andre.leal@udesc.br</a>	André Bittencourt Leal, Douglas Wildgrube Bertol
Grupo de Estudo em Processos Produtivos: Gestão, Projeto, Tecnologia e Trabalho	UFGD - Universidade Federal da Grande Dourados	Indústria 4.0	Dourados - MS	<a href="mailto:carloscamparotti@ufgd.edu.br">carloscamparotti@ufgd.edu.br</a>	Carlos Eduardo Soares Camparotti

Grupo de Estudos em Antenas, Eletromagnetismo Aplicado e Comunicações	UFPEL - Universidade Federal de Pelotas	Indústria 4.0	Pelotas - RS	<a href="mailto:canabarrom@gmail.com">canabarrom@gmail.com</a>	Maiquel dos Santos Canabarro
Grupo de Estudos em Integração, Demanda e Cadeia de Suprimentos	UFU - Universidade Federal de Uberlândia	Indústria 4.0	Uberlândia - MG	<a href="mailto:pimenta@ufu.br">pimenta@ufu.br</a>	Márcio Lopes Pimenta
GIAI - Grupo de Inovação em Automação Industrial	UnB - Universidade de Brasília	Indústria 4.0	Brasília - DF	<a href="mailto:alvares@AlvaresTech.com">alvares@AlvaresTech.com</a>	Alberto José Alvares
Grupo de Manufatura Aplicada	IFRS - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul	Indústria 4.0	Caxias do Sul - RS	<a href="mailto:daniel.goncalves@caxias.ifrs.edu.br">daniel.goncalves@caxias.ifrs.edu.br</a>	Daniel Amoretti Gonçalves, Alexandre Luis Gasparin
Grupo de Pesquisa em Gestão da Tecnologia da Informação	IFSP - Instituto Federal de São Paulo	Indústria 4.0	Boituva - SP	<a href="mailto:roberta.sinoara@ifsp.edu.br">roberta.sinoara@ifsp.edu.br</a>	Roberta Akemi Sinoara
Grupo de pesquisa em Internet das Coisas	CESAR - Centro de Estudos e Sistemas Avançados do Recife	Indústria 4.0	Recife - PE	<a href="mailto:tqfb@cesar.org.br">tqfb@cesar.org.br</a>	Tiago Guedes Ferreira Barros, Eduardo Campello Peixoto
Grupo de Pesquisa em Redes de Computadores e Comunicações de Tempo Real	UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina	Indústria 4.0	Florianópolis - SC	<a href="mailto:carlos.montez@ufsc.br">carlos.montez@ufsc.br</a>	Carlos Barros Montez, Ricardo Alexandre Reinaldo de Moraes
Grupo de Pesquisa Industry 4.0	UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná	Indústria 4.0	Ponta Grossa - PR	<a href="mailto:ruiyoshino@utfpr.edu.br">ruiyoshino@utfpr.edu.br</a>	Rui Tadashi Yoshino, Max Mauro Dias Santos
Grupo de Pesquisas em Gestão da Produção Industrial	IFRJ- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro	Indústria 4.0	Nilópolis -RJ	<a href="mailto:genildo.santos@ifrj.edu.br">genildo.santos@ifrj.edu.br</a>	Genildo Nonato Santos, Ana Carla de Souza Gomes dos Santos
Grupo de Pesquisas em Tecnologias da Informação, Educação e Inovação - Ocean Center	UEA - Universidade do Estado do Amazonas	Indústria 4.0	Manaus - AM	<a href="mailto:mauricio.figueiredo@oceanbrasil.com">mauricio.figueiredo@oceanbrasil.com</a>	Carlos Maurício Seródio Figueiredo, Silvio Romero Adjar Marques
Impressão 4D e Biomimética	UFABC - Universidade Federal do ABC	Indústria 4.0	Santo André - SP	<a href="mailto:silvia.titotto@ufabc.edu.br">silvia.titotto@ufabc.edu.br</a>	Silvia Lenyra Meirelles Campos Titotto, Mathilde Julienne Gisèle Champeau
Indústria 4.0 e Transformação Digital na Produção. Análise em três eixos - a sustentabilidade, o trabalho e a tecnologia.	UNIP - Universidade Paulista	Indústria 4.0	São Paulo - SP	<a href="mailto:marcia.silva@docente.unip.br">marcia.silva@docente.unip.br</a>	Márcia Terra da Silva

Internet das Coisas	UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná	Indústria 4.0	Guarapuava - PR	<a href="mailto:hermanopereira@utfpr.edu.br">hermanopereira@utfpr.edu.br</a>	Hermano Pereira
Laboratório de Desenvolvimento e Otimização de Produtos e Processos (LADOPP)	UFJF - Universidade Federal de Juiz de Fora	Indústria 4.0	Juiz de Fora - MG	<a href="mailto:antonio.picorone@engenharia.ufjf.br">antonio.picorone@engenharia.ufjf.br</a>	Marcos Vinícius Rodrigues, Antônio Ângelo Missiaggia Picorone
Manufatura Avançada	UPE - Universidade de Pernambuco	Indústria 4.0	Recife - PE	<a href="mailto:rogeriopontes@poli.br">rogeriopontes@poli.br</a>	Rogério Pontes de Araújo
MOPSID - Núcleo de Modelagem de Processos e Simulação Dinâmica	UNIMEP - Universidade Metodista de Piracicaba	Indústria 4.0	Santa Bárbara D'Oeste - SP	<a href="mailto:fernando.campos@unimep.br">fernando.campos@unimep.br</a>	Fernando Celso de Campos, Orlando Roque da Silva
NEAI 4.0 (Núcleo de Estudos Aplicados em Indústria 4.0)	UFPEL - Universidade Federal de Pelotas	Indústria 4.0	Pelotas - RS	<a href="mailto:pereira.asp@gmail.com">pereira.asp@gmail.com</a>	Aline Soares Pereira, Vagner Pinto da Silva
Núcleo de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia em Projeto e Fabricação de Matrizes para Conformação	UFPR - Universidade Federal do Paraná	Indústria 4.0	Curitiba - PR	<a href="mailto:marcondes@ufpr.br">marcondes@ufpr.br</a>	Paulo Victor Prestes Marcondes, Dalberto Dias da Costa
PSIUD - Processos e Sistemas Inteligentes no Universo Digital	IFSC - Instituto Federal de Santa Catarina	Indústria 4.0	Tubarão - SC	<a href="mailto:marcos.pisching@ifsc.edu.br">marcos.pisching@ifsc.edu.br</a>	Marcos André Pisching
Robótica e Sistemas Inteligentes	UFBA - Universidade Federal da Bahia	Indústria 4.0	Salvador - BA	<a href="mailto:andre.gustavo@ufba.br">andre.gustavo@ufba.br</a>	Andre Gustavo Scolari Conceição, Jês de Jesus Fiais Cerqueira
Sistemas Produtivos e Logísticos - S-ProLog	UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina	Indústria 4.0	Florianópolis - SC	<a href="mailto:enzo.frazzon@ufsc.br">enzo.frazzon@ufsc.br</a>	Enzo Morosini Frazzon, Fernando Antônio Forcellini
Tecnologias Emergentes	UFAM - Universidade Federal do Amazonas	Indústria 4.0	Manaus - AM	<a href="mailto:dercioreis@ufam.edu.br">dercioreis@ufam.edu.br</a>	Dércio Luiz Reis
TECNOLOGIAS, INDÚSTRIA 4.0 E DISPOSITIVOS MÓVEIS	UNASP - Centro Universitário Adventista de São Paulo	Indústria 4.0	Cotia - SP	<a href="mailto:rswataya@gmail.com">rswataya@gmail.com</a>	Roberto Sussumu Wataya
TeMAS Brazil - Team of Management Analysis and Studies	UFU - Universidade Federal de Uberlândia	Indústria 4.0	Uberlândia - MG	<a href="mailto:verica@ufu.br">verica@ufu.br</a>	Verica Marconi Freitas de Paula
Transformação Digital de Processos Industriais	UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais	Indústria 4.0	Campina Grande - PB	<a href="mailto:heleno.bispo@eq.ufcg.edu.br">heleno.bispo@eq.ufcg.edu.br</a>	Helena Bispo da Silva Junior
WebArq - Tecnologias Avançadas para Aplicações Móveis e Web	UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná	Indústria 4.0	Ponta Grossa - PR	<a href="mailto:drantunes@utfpr.edu.br">drantunes@utfpr.edu.br</a>	Diego Roberto Antunes

## APÊNDICE E – LISTA DE ENTREVISTADOS – EMPRESAS DE CONSULTORIA

Empresa	Cidade/Estado	Telefone	E-mail:	Contato
AGREGACo.	São Paulo - SP	<a href="tel:(11)9.4242-0783">(11) 9.4242-0783</a>	<a href="mailto:contato@agregaco.com.br">contato@agregaco.com.br</a>	Não informado
Acceta	Rio de Janeiro - RJ	21) 3281-7130	<a href="mailto:contato@acceta.com.br">contato@acceta.com.br</a>	Não informado
Agregaco	São Paulo - SP	(11) 9.4242-0783	<a href="mailto:contato@agregaco.com.br">contato@agregaco.com.br</a>	Não informado
Allcance	Marau - RS	54) 3342-4588	<a href="mailto:contato@allcancetec.com.br">contato@allcancetec.com.br</a>	Não informado
Blauecke	Campinas - SP	19 2121-8087	<a href="mailto:rodmar.cardinali@blauecke.com.br">rodmar.cardinali@blauecke.com.br</a>	Não informado
Deloitte Brasil	Porto Alegre - RS	(51) 3327-8800	<a href="mailto:rduque@deloitte.com">rduque@deloitte.com</a>	Ricardo Schenk
Engsearch	Jundiaí-SP	<a href="tel:1145271322">1145271322</a>	<a href="mailto:contato@engsearch.com.br">contato@engsearch.com.br</a>	Não informado
Ernst & Young Brasil	Porto Alegre - RS	(51) 3204-5500	<a href="mailto:arthur.arruda@br.ey.com">arthur.arruda@br.ey.com</a>	Arthur Arruda
Fit Tecnologia	Sorocaba - SP	55 15 4009-0606	<a href="mailto:contato@fittecnologia.com.br">contato@fittecnologia.com.br</a>	Não informado
Fluxo Engenharia	Ilha do Fundão - RJ	(21) 96986-5927	<a href="mailto:contato@fluxoengenharia.com.br">contato@fluxoengenharia.com.br</a>	Não informado
Fundação Dom cabral	Minas Gerais	0800-9419200	<a href="mailto:atendimento@fdc.gov.br">atendimento@fdc.gov.br</a>	Não informado
GT group	São Paulo - SP	(11) 3522-7035	<a href="mailto:contato@gtgroup.com.br">contato@gtgroup.com.br</a>	Não informado
Hubi4.0	Manaus – Amazonas	Não informado	<a href="mailto:contato@hubi.com.br">contato@hubi.com.br</a>	Não informado
IEL - Instituto Euvaldo Lodi	São Paulo - SP	(61) 3317 9989	<a href="mailto:contato@ielcni.com.br">contato@ielcni.com.br</a>	Não informado
Iman consultoria	São Paulo - SP	(11) 5575-1400	<a href="mailto:iman@iman.com.br">iman@iman.com.br</a>	<a href="#">Steel Wharehouse</a>
IT performance	São Bernanardo do Campo - SP	11 4130-3890	<a href="mailto:contato@itperformance.com.br">contato@itperformance.com.br</a>	Não informado
KPMG Brasil	Porto Alegre - RS	(51) 3327-0200	direto pelo site <a href="mailto:contato@lean-consultores.com.br">contato@lean-consultores.com.br</a>	Marcio Kanamaru
Lean Consultores	Não informado	Não informado	<a href="mailto:comercial@legadoconsultoria.com.br">comercial@legadoconsultoria.com.br</a>	Marco Salvany
Legado Consultoria	Rio de Janeiro - RJ	21 98070-2535	<a href="mailto:comercial@legadoconsultoria.com.br">comercial@legadoconsultoria.com.br</a>	Não informado
LSI-TEC - Laboratório de Sistemas Integráveis Tecnológico	São Paulo - SP	11 3521-0801	<a href="mailto:contato@lsitec.org.br">contato@lsitec.org.br</a>	Não informado
Mackenzie	São Paulo - SP	11 93091-5735	<a href="mailto:comercial@irmack.com.br">comercial@irmack.com.br</a>	Não informado
Miidas Consultoria Empresaria	Curitiba -PR	41 98864-5427	<a href="mailto:contato@miidas.com.br">contato@miidas.com.br</a>	Não informado
MRPeasy na América	Dalas - USA	Não informado	<a href="mailto:contato@mrpeasy.com.br">contato@mrpeasy.com.br</a>	Não informado
Otimiza Consultoria	Caxias do Sul - RS	(54) 32116045	<a href="mailto:otm@otm.com.br">otm@otm.com.br</a>	Não informado
PPI - Multitask	São Paulo - SP	11-3097-3107	<a href="mailto:contato@ppi-multitask.com">contato@ppi-multitask.com</a>	Não informado
Pricewaterhousecoopers Brasil	Porto Alegre - RS	(51) 3378-1700	direto pelo site	Ricardo Queiroz
Produzzare	Porto Alegre - RS	51 3024 5536	<a href="mailto:contato@produzzare.com.br">contato@produzzare.com.br</a>	Não informado
Purtec	Santo André - SP	55 11 99533 6011	<a href="mailto:solucoes@purtecconsultoria.com.br">solucoes@purtecconsultoria.com.br</a>	Não informado
ReditechaAutomation	São Caetano do Sul - SP	(11) 4318 5293	<a href="mailto:info@reditechautomation.com">info@reditechautomation.com</a>	Não informado
Resulta Consultoria	São Paulo - SP	(11) 5532-1081	direto pelo site	Não informado
RSI Redes	Rio de Janeiro - RJ	Não informado	<a href="mailto:contato@rsi.com.br">contato@rsi.com.br</a>	Não informado
Sequor Softwares Industriais	Canoas - RS	<a href="tel:(51)3462-0600">(51)3462-0600</a>	<a href="mailto:contato@sequor.com.br">contato@sequor.com.br</a>	Não informado

Setec Consulting Group	São Paulo - SP	(11) 5051-3933	<a href="mailto:setec@setecnet.com.br">setec@setecnet.com.br</a>	Não informado
Sirros IoT - Soluções para Indústria 4.0	Novo Hamburgo - RS	(51) 3781-3141	<a href="mailto:comercial@sirros.net">comercial@sirros.net</a>	Não informado
Stefani Group	Jaguariúna - SP	(11) 5105-7171	<a href="mailto:lucianaabritta@dfreire.com.br">lucianaabritta@dfreire.com.br</a>	Luciana Abritta
Stratesys	São Paulo - SP	(11) 4280-8482	<a href="mailto:sao@stratesys-ts.com">sao@stratesys-ts.com</a>	Não informado
Tenbu	São Paulo - SP	(11) 3853-1291	<a href="mailto:contato@tenbu.com.br">contato@tenbu.com.br</a>	Não informado
Venturus	Campinas - SP	(19) 3755-8600	<a href="mailto:contato@venturus.org.br">contato@venturus.org.br</a>	Não informado
Vexia	Americana - SP	0800 233 9920	<a href="mailto:evero@vexia.com.br">evero@vexia.com.br</a>	Não informado
Zorzatec Inovação	Santo André - SP	(11) 99621-9127	<a href="mailto:contato@zorfatec.com.br">contato@zorfatec.com.br</a>	Eng°. Paulo Roberto dos Santos

## APÊNDICE F – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Eu, Simone Santos Knak, discente no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção de Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – PPGEPS/UNISINOS, nível de Doutorado, tendo como orientador desta pesquisa o Prof. Dr. Cristiano Richter, solicito sua participação como entrevistado na pesquisa intitulada: **Proposta de um *Framework* para a Priorização de Implantação das Tecnologias da Indústria 4.0 a partir da Estratégia de Produção.**

Esta pesquisa tem como objetivo geral propor um *framework* para a priorização de implantação das tecnologias da indústria 4.0 (I4.0) a partir da estratégia de produção a geração de valor da firma.

O tema priorização de tecnologias para a I4.0 foi escolhido como tema central deste trabalho por se tratar de um tema que ainda não foi abordado com objetivo estratégico para a tomada de decisões de investimentos a partir dos critérios competitivos.

Desta forma, o questionário apresentado em anexo norteará este estudo. Para esta pesquisa a coleta de dados será realizada por meio de entrevistas via teams/ e-mail, utilizando um questionário semiestruturado, com questões abertas. As entrevistas serão gravadas, possibilitando a confiabilidade dos dados nas transcrições realizadas. Observa-se que os resultados oriundos das entrevistas serão utilizados para fins de estudo, caso contrário os mesmos serão inutilizados.

Em termos de seleção de participantes e das amostras, fica acordado entre as partes que a identidade do entrevistado será preservada, não divulgando suas informações pessoais e profissionais. O entrevistado poderá, também, desistir do estudo a qualquer momento, sem haver prejuízos de qualquer natureza. Pode, ainda, solicitar informações sobre o andamento da pesquisa e/ou seus resultados por meio eletrônico ou contato telefônico:

Simone Santos Knak – PPGEPS/Universidade do Vale do Rio dos Sinos  
Endereço Eletrônico: sknak@unisinis.br ou (51) 98416.8937

Este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido será assinado em duas vias, ficando uma via em posse do/a participante, e a outra sob a equipe de pesquisa.

Nome do entrevistado: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Me. Simone Santos Knak  
Pesquisador

\_\_\_\_\_  
Dr. Cristiano Richter  
Orientador

## APÊNDICE G – PROTOCOLO DE ESTUDO DE CASO

### Protocolo de Estudo de Caso

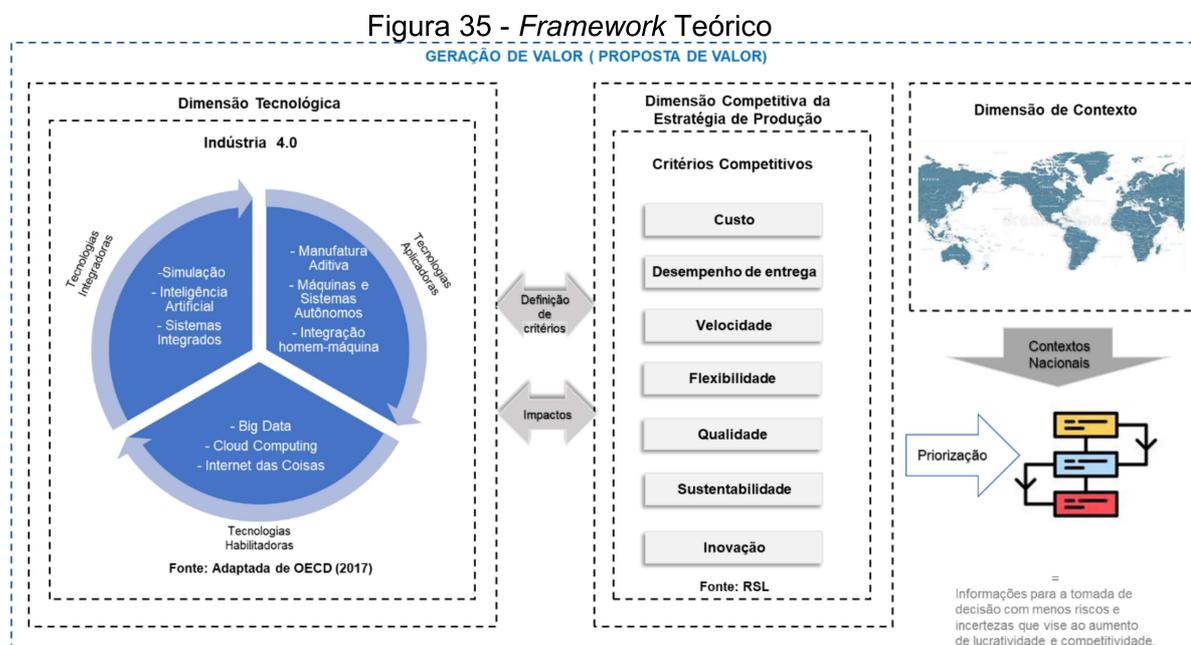
Este protocolo busca suportar a pesquisa qualitativa deste estudo, parte da validação prática do framework. (estudo de caso). Etapa de avaliação do Artefato da DSR (*Design Science Research*).

A I4.0 foi considerada uma nova fase industrial em que várias tecnologias emergentes estão convergindo para fornecer soluções digitais, porém a falta de entendimento quanto à implementação destas tecnologias torna-se um desafio para as empresas (FRANK; DALENOGARE; AYALA, 2019). Desse modo, é objeto de pesquisa de diversos estudiosos a implantação efetiva das tecnologias da I4.0 (BABICEANU; SEKER, 2016; DALENOGARE *et al.*, 2018; LEE; BAGHERI; KAO, 2015).

De acordo com Agermann, Wahlster e Helbig (2013), os processos se desenvolvem pela combinação de tecnologias digitais e de manufatura, os quais permitem a integração vertical dos sistemas da organização, integração horizontal em redes colaborativas e soluções ponta a ponta em toda a cadeia de valor (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OECD (2017) corrobora com a discussão ao indicar que, mesmo com o advento da I4.0, as organizações devem considerar que a utilização de tecnologias digitais ou infraestruturas de informações em separado não trarão benefícios significativos para as organizações. Dessa forma, a transformação digital não se refere somente ao surgimento de tecnologias, mas especialmente sobre a convergência e integração que podem oferecer (OECD, 2017). Assim sendo, observa-se a necessidade, do ponto de vista da empresa, em definir a priorização de tecnologias da I4.0 com expectativas de ganhos. Nesse sentido, os benefícios esperados mais citados na literatura são: redução de custos em quase todas as atividades operacionais, uso de recursos mais eficientes e aumento da competitividade (BERGER, 2016; KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

Com base nesse contexto, a pesquisa relaciona as tecnologias da I4.0 com a estratégia da organização e da produção por meio dos critérios

competitivos. Com o *framework* concluído, ele é avaliado com um estudo de caso em três firmas do ramo da indústria plástica de alta performance de um mesmo Grupo em países distintos, como pode ser observado na Figura 35. Trata-se da sintetização do *framework* teórico de pesquisa desta tese.



Levando-se em consideração o contexto apresentado, emerge o seguinte problema de pesquisa: **Como seria um *framework* teórico para a priorização das tecnologias da I4.0 a partir da estratégia de produção para a geração de valor da firma?**

a) Questões de estudo de caso

### Dimensão Tecnológica

Sendo a tecnologia o principal impulsionador da quarta revolução industrial, a grande quantidade de tecnologias associada à I4.0 é mencionada em muitos estudos (PICCAROZZI; AQUILANI; GATTI, 2018; RÜSSMANN *et al.*, 2015; SCHWAB, 2016; UNCTAD, 2018), sendo um dos grandes impactos da I4.0 a interconectividade entre elas (OECD, 2017). Percebe-se, então, que as tecnologias de base permitem o emprego das tecnologias do topo. Essas tecnologias são: *Big Data*, *Cloud Computing* e Internet das Coisas e são apresentadas como tecnologias habilitadoras, pois habilitam as tecnologias do

topo quando são integradas com tecnologias como simulação, Inteligência Artificial e sistemas integrados. Dessa forma, essa integração permitirá o desdobramento de tecnologias aplicadoras como a manufatura aditiva, máquinas e sistemas autônomos e integração homem-máquina (OECD, 2017).

Nesta tese, chamar-se-á *dimensão tecnológica* as tecnologias habilitadoras, integradoras e aplicadoras.

### **Dimensão Competitiva da Estratégia de Produção**

O contexto em que as empresas brasileiras (e as demais economias emergentes) estão inseridas é ressaltado, tendo em vista os desafios que enfrentam frente à emergência da indústria 4.0. Conforme o Instituto de Estudos de Desenvolvimento Industrial - IEDI (2021), ainda que a nova revolução industrial traga ganhos importantes sobre vários aspectos para todos, é um momento de atenção para os países emergentes, pois, nas últimas décadas, a América Latina apresentou uma performance inferior em comparação a outras regiões em desenvolvimento, especialmente em relação ao Leste Asiático. A automação dos sistemas produtivos por meio de robôs cada vez mais inteligentes tende a ser maior em economias mais desenvolvidas do que nas economias emergentes. Muitos empregos, sobretudo em atividades rotineiras, devem desaparecer nos países de renda alta, sendo compensado com novos postos de trabalho e elevada produtividade. No entanto, é razoável compreender que as economias emergentes não ficarão imunes, visto que podem ser afetadas pela retomada de empresas transnacionais dos países ricos (IEDI, 2021).

De outra forma, as empresas não conseguem competir com os mesmos critérios competitivos no Brasil, Estados Unidos da América (EUA) e Alemanha, por exemplo. Nesta tese, chama-se de dimensão competitiva da estratégia de produção os critérios competitivos que a empresa compete. Cabe dizer que, nos anos 70, a maior parte da concorrência nos EUA era baseada em preço, dentro de determinada indústria, níveis de defeitos, variedade de linhas de produtos, tempo de entrega e a taxa de lançamentos de novos produtos era similar entre as indústrias, tornando-se critérios neutros até onde a diferenciação competitiva era considerada (HAYES *et al.*, 2008).

Já nos anos 80, como resultado, a qualidade se tornou número um na Ford e em muitas outras empresas que buscavam alcançar os concorrentes

estrangeiros. Nos anos 90, por sua vez, a flexibilidade passou a responder as exigências dos clientes por produtos customizados e, no final do século XX, muitas empresas reduziram a diferença de qualidade, flexibilidade e velocidades entre elas mesmas e suas concorrentes. E, assim, em um mundo no qual os preços estavam sob pressão e a recente mão-de-obra de baixo custo da China, Europa Oriental, Índia e América Latina gerava novas maneiras de reduzir custos, o custo baixo ressurgiu em muitas indústrias como a principal base de competição (HAYES *et al.*, 2008).

De acordo com Antunes Junior *et al.* (2008), existem diferenças consideráveis entre as condições competitivas enfrentadas por empresas em diferentes países. Os autores citam três aspectos, em especial, que consideram chave para o projeto de sistema de manufatura competitivo, que são: escala de produção do mercado interno (considerando a proporção com o volume observado em relação a mercados dos países desenvolvidos), diversidade de produtos e custo relativo dos fatores de produção.

Quanto à escala de produção, os autores Antunes Junior *et al.* (2008) exemplificam com a indústria automobilística brasileira, principal cadeia industrial em se tratando de faturamento, e comparam o mercado brasileiro com o dos Estados Unidos, que apresentam um escala de produção aproximadamente dez vezes maior que a do Brasil. Além das questões referentes à escala, também houve a entrada de novos competidores no mercado, ampliando a variedade de produtos no final da década de 1990. Cabe acrescentar que o volume de produção diminuiu, mas a variedade de itens impactou toda a cadeia de suprimentos.

Ao comparar o Brasil com os países desenvolvidos (Estados Unidos, Japão e Europa), os custos do fator trabalho (mão-de-obra) são baixos. No Brasil, os valores foram obtidos junto ao sindicato do ABC paulista que se situam bem acima da média real do país, mesmo assim, o custo da mão-de-obra no Brasil equivale a 17,44% do custo dos Estados Unidos que foi o maior custo apresentado, e o segundo maior custo ficou com o Japão que equivale a 82,42% do custo dos Estados Unidos. O Brasil, em relação ao Japão, equivale a 21,16% de seu custo de mão-de-obra (ANTUNES JUNIOR *et al.*, 2008).

Diante do exposto, estratégias sustentáveis de longo prazo, tanto para o desenvolvimento do país como para a competitividade das empresas industriais,

necessitam de eficiência nas operações com inovação, a fim de propiciar a criação de valor e uma mudança no patamar da indústria (ANTUNES JUNIOR *et al.*, 2008). Cabe salientar que, para Osterwalder (2004), a proposta de valor consiste nas ofertas que a empresa faz que são valorizadas pelo cliente. Sendo assim, a proposta de valor está diretamente ligada à estratégia do negócio. A proposta de valor impacta, então, as operações, e a definição de seus critérios competitivos para cada contexto nacional direcionará a empresa em seus investimentos.

### **Dimensão de Contexto**

Há uma necessidade por parte das empresas em tomar decisões diferentes de investimentos, levando em consideração o contexto nacional em que ela está inserida e a forma que planeja competir. Nesta tese, chama-se de dimensão de contexto, os diferentes países que a firma/empresa está localizada. A I4.0 é uma transformação de negócios, pois relaciona a eficiência produtiva com a redução de custos, melhoria da receita, permitindo que as empresas repensem sua relação com os clientes e deixem de vender somente produtos específicos e passem também a oferecer serviços e resultados. Ao fazerem isso, conseguem ter uma relação mais próxima com seus clientes, sendo possível aumentar sua margem de lucro no longo prazo, ao mesmo tempo em que cativam seus clientes com seus produtos e serviços novos.

### **Critérios Competitivos**

Os critérios competitivos foram selecionados por meio da Revisão Sistemática da Literatura (RSL) e por meio da técnica bola de neve, que é quando durante a leitura dos artigos selecionados, foram encontradas outras referências a partir destes primeiros (LITTEL; CORCORAN; PILLAI, 2008). No presente estudo, todos os critérios competitivos mencionados na literatura foram considerados. Sendo assim, os critérios selecionados são: **custo, desempenho de entrega, velocidade, flexibilidade, qualidade, sustentabilidade e inovação**. Os conceitos adotados para os critérios selecionados nesta tese seguem no Quadro 28.

Quadro 28 - Conceitos adotados aos Critérios Competitivos

<b>Critério</b>	<b>Conceito</b>	<b>Autor</b>
<b>Custo</b>	<p>Buscar à percepção de todos os custos relacionados à produção, entrega, manutenção e descarte de produtos na empresa. Logo, a busca pelo baixo custo considera três conceitos, que são: produtividade, economia de escala e curva de experiência.</p> <p>Competir no mercado com uma produção de baixo custo, mantendo os custos de fabricação competitivos.</p>	<p>(CORBETT; WASSENHOVE, 1993).</p> <p>(HUSSAIN <i>et al.</i>, 2015).</p>
<b>Desempenho de Entrega</b>	O desempenho de entrega ou confiabilidade de entrega relaciona-se ao tempo que a firma leva para manufaturar e para que o produto chegue aos consumidores.	(PAIVA, E. L.; CARVALHO JR.; FENSTERSEIFER, 2009)
<b>Velocidade</b>	Para competir por velocidade, a empresa precisa estar alinhada ao tempo que o cliente deve esperar desde a emissão do pedido até o recebimento do produto efetivamente.	(SLACK, 1993)
<b>Flexibilidade</b>	Capacidade das empresas em atenderem a mudanças de produtos ou serviços, visando aos prazos de entregas, volumes de produção, ampliação ou redução da variedade de produtos ou serviços, capacidade de mudanças quando necessário e, tendo como fator relevante por trás de tais alterações, a agilidade de adaptação das firmas às necessidades.	(SLACK, 1993)
<b>Qualidade</b>	<p>A partir da apresentação de diferentes dimensões que definem qualidade dos produtos: desempenho, recursos, confiabilidade, conformidade, durabilidade, facilidade de manutenção e estética.</p> <p>A medida da qualidade está diretamente relacionada à importância da confiabilidade, durabilidade e inovação de um componente.</p>	<p>(GARVIN, 1987)</p> <p>(HUSSAIN <i>et al.</i>, 2015)</p>
<b>Sustentabilidade</b>	Reduzir as taxas de consumo de recursos naturais não renováveis com o objetivo de causar menor danos ao meio ambiente.	(CORRÊA; XAVIER, 2013)
<b>Inovação</b>	Novos produtos, novos métodos de produção, novas fontes de abastecimento, exploração de novos mercados e novas formas de organizar os negócios.	(SCHUMPETER, 1934)

Fonte: Elaborado pela autora

Questões do Estudo de Caso:

### Roteiro A – Critérios Competitivos

- a) Levando em consideração o segmento de SHAPES, qual é o critério competitivo nesta unidade de negócios?

### Roteiro B- Indústria 4.0

- a) Qual é a maturidade da implantação das Tecnologias da I4.0 nesta unidade de negócios?

Quadro 29 - Quadro de Maturidade da Implantação das Tecnologias da I4.0

Desempenho/ Maturidade de Implantação	Baixa									Alta
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Fábricas inteligentes										
Impressão 3D										
Manufatura aditiva										
Robôs										
Big Data										
Computação em Nuvem										
Integração e Sistemas										
IoT										
Cibersegurança										
CPS										
Inteligência Artificial										
Realidade Aumentada										
RFID										
Simulação										
Veículos autônomos (Drones)										

Fonte: Elaborado pela autora

### **Roteiro C- Validação da Versão 3 do artefato**

Após o processo de análise, coleta de dados, e preparação de dados, foi possível elaborar artefatos de priorização de tecnologias da I4.0, levando em consideração os critérios competitivos. A validação foi feita por 63 especialistas e resultou na seguinte versão:

<b>Tecnologias</b>	<b>CUSTO</b>	<b>Média</b>	<b>Tecnologias</b>	<b>VELOCIDADE</b>	<b>Média</b>	<b>Tecnologias</b>	<b>FLEXIBILIDADE</b>	<b>Média</b>
Aplicadoras	Veículos Autônomos	4,27d	Habilitadoras	Big data	4,39c	Aplicadoras	Manufatura Aditiva	4,43d
Aplicadoras	Fábricas inteligentes	4,37c	Aplicadoras	Fábricas inteligentes	4,37c	Habilitadoras	Computação em nuvem	4,17d
Aplicadoras	Robôs	4,27b	Integradoras	CPS	4,36c	Aplicadoras	Robôs	4,11b
Integradoras	Inteligência Artificial	4,25de	Habilitadoras	IoT	4,12c	Habilitadoras	IoT	3,99bc
Integradoras	CPS	4,22c	Habilitadoras	Computação em nuvem	4,08cd	Integradoras	Inteligência Artificial	3,94bc
Integradoras	Simulação	4,01bc	Aplicadoras	Robôs	4,05b	Aplicadoras	Impressão 3D	3,93d
Habilitadoras	IoT	4,01bc	Integradoras	Inteligência Artificial	4,02bcd	Aplicadoras	Fábricas inteligentes	3,92b
Integradoras	Realidade Aumentada	3,87cd	Habilitadoras	RFID	3,99c	Aplicadoras	Veículos Autônomos	3,84bc
Aplicadoras	Manufatura Aditiva	3,87bc	Integradoras	Realidade Aumentada	3,86cd	Integradoras	Realidade Aumentada	3,84c
Habilitadoras	Computação em nuvem	3,87bc	Integradoras	Integração e sistemas	3,86b	Integradoras	CPS	3,79b
Habilitadoras	RFID	3,77bcd	Aplicadoras	Manufatura Aditiva	3,78b	Integradoras	Simulação	3,77bc
Integradoras	Cibersegurança	3,77cd	Integradoras	Cibersegurança	3,74c	Integradoras	Integração e sistemas	3,73b
Aplicadoras	Impressão 3D	3,71cd	Integradoras	Simulação	3,72b	Habilitadoras	Big data	3,69b
Integradoras	Integração e sistemas	3,71b	Aplicadoras	Veículos Autônomos	3,58b	Habilitadoras	RFID	3,60b
Habilitadoras	Big data	3,69b	Aplicadoras	Impressão 3D	3,24ab	Integradoras	Cibersegurança	3,34b
<b>Tecnologias</b>	<b>QUALIDADE</b>	<b>Média</b>	<b>Tecnologias</b>	<b>SUSTENTABILIDADE</b>	<b>Média</b>	<b>Tecnologias</b>	<b>INOVAÇÃO</b>	<b>Média</b>
Aplicadoras	Fábricas inteligentes	4,06b	Aplicadoras	Manufatura Aditiva	2,97a	Integradoras	Inteligência Artificial	4,37e
Aplicadoras	Robôs	4,03b	Aplicadoras	Fábricas inteligentes	2,93a	Aplicadoras	Veículos Autônomos	4,37d
Integradoras	CPS	4,00b	Aplicadoras	Veículos Autônomos	2,93a	Integradoras	CPS	4,38c
Integradoras	Simulação	4,00bc	Integradoras	CPS	2,81a	Aplicadoras	Robôs	4,21b
Habilitadoras	IoT	3,84b	Habilitadoras	Big data	2,67a	Aplicadoras	Fábricas inteligentes	4,20bc
Integradoras	Cibersegurança	3,81cd	Integradoras	Inteligência Artificial	2,66a	Integradoras	Realidade Aumentada	4,09d
Aplicadoras	Veículos Autônomos	3,78bc	Aplicadoras	Impressão 3D	2,65a	Habilitadoras	IoT	4,08bc
Habilitadoras	Big data	3,77b	Habilitadoras	IoT	2,64a	Integradoras	Simulação	4,04c
Integradoras	Inteligência Artificial	3,76b	Integradoras	Simulação	2,61a	Integradoras	Cibersegurança	4,00d

Aplicadoras	Manufatura Aditiva	3,72b	Integradoras	Realidade Aumentada	2,61a	Habilitadoras	RFID	3,92c
Habilitadoras	Computação em nuvem	3,67b	Aplicadoras	Robôs	2,56a	Aplicadoras	Impressão 3D	3,90cd
Habilitadoras	RFID	3,58b	Habilitadoras	RFID	2,54a	Aplicadoras	Manufatura Aditiva	3,87b
Integradoras	Integração e sistemas	3,53b	Habilitadoras	Computação em nuvem	2,48a	Habilitadoras	Computação em nuvem	3,75b
Integradoras	Realidade Aumentada	3,50b	Integradoras	Cibersegurança	2,36a	Habilitadoras	Big data	3,70b
Aplicadoras	Impressão 3D	3,35b	Integradoras	Integração e sistemas	2,21a	Integradoras	Integração e sistemas	3,55b

<b>Tecnologias</b>	<b>DESEMP. DE ENTREGA</b>	<b>Média</b>
Aplicadoras	Manufatura Aditiva	4,15c
Integradoras	Realidade Aumentada	4,03cd
Integradoras	CPS	4,05bc
Aplicadoras	Robôs	4,02b
Habilitadoras	Big data	4,00b
Aplicadoras	Fábricas inteligentes	3,99b
Aplicadoras	Veículos Autônomos	3,96c
Integradoras	Simulação	3,95bc
Habilitadoras	RFID	3,94c
Habilitadoras	IoT	3,94bc
Integradoras	Inteligência Artificial	3,89bc
Habilitadoras	Computação em nuvem	3,79b
Integradoras	Cibersegurança	3,73cd
Integradoras	Integração e sistemas	3,59b
Aplicadoras	Impressão 3D	3,54bc

a,b,c,d,e Letras iguais não diferem pelo teste de Bonferroni a 5% de significância Fonte: Elaborado pela autora

A análise estatística utilizada foi análise de Variância (ANOVA) para medidas repetidas com ajuste das diferenças pelo teste de Bonferroni, sendo que o nível de significância adotado foi de 5% ( $p < 0,05$ ) e as análises foram realizadas no programa SPSS versão 21.0.

- a) Levando em consideração o critério competitivo definido para o segmento da sua unidade de negócios (Shapes). A priorização das tecnologias apresentadas no Framework é condizente para nortear decisões estratégicas ou de investimentos para a Unidade de negócios em questão?
- b) Ao observar o framework critério a critério, a priorização das tecnologias por critério competitivo é condizente com a realidade da organização?
- c) Levando em consideração este *framework*, você concorda que o mesmo nortearia a tomada de decisão em investimentos na I4.0 em sua unidade de negócios? Faz sentido?
- d) Você usaria este *framework* para discussões para nortear seus planos de investimentos em I4.0 e em uma futura tomada de decisões dentro da sua unidade de negócios?
- e) Você tem alguma consideração sobre a pesquisa e/ou *framework* a acrescentar?