

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
CAMPUS SANTA BÁRBARA D'OESTE
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**DIFICULDADES INERENTES À IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0:
PROPOSTA DE UM MÉTODO PARA PRIORIZAR E PROPOR
SOLUÇÕES**

SANTA BÁRBARA D'OESTE

OUTUBRO/ 2020

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
CAMPUS SANTA BÁRBARA D'OESTE
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**DIFICULDADES INERENTES À IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0:
PROPOSTA DE UM MÉTODO PARA PRIORIZAR E PROPOR
SOLUÇÕES**

MATHEUS PHELIPE VENDRAMINI

ORIENTADOR: PROF. DR. ALEXANDRE TADEU SIMON

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

SANTA BÁRBARA D'OESTE

OUTUBRO/ 2020

VENDRAMINI, Matheus P. **Dificuldades inerentes à implantação da Indústria 4.0: Proposta de um método para priorizar e propor soluções.** 2020. 204f. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção – Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste.

RESUMO

A Indústria 4.0 é um conceito que une as principais inovações tecnológicas aplicadas aos processos de manufatura com vistas a criar fábricas inteligentes que gerenciam e integram recursos e processos e que tenham capacidade de prever produtos futuros e responder à intensificação da variedade e complexidade com baixo custo e baixo impacto ambiental. O propósito é obter um aumento substancial da eficiência operacional bem como o desenvolvimento de modelos de negócios, serviços e produtos inteiramente novos. A implantação da Indústria 4.0 é um processo complexo e tem sido realizado de forma lenta. Grande parte das empresas não obtém progresso, porque não conseguem traçar planos de ação, programas e projetos de implantação, devido às várias dificuldades e desafios decorrentes da implementação das tecnologias da Indústria 4.0. As pesquisas sugerem que para uma implantação bem-sucedida da Indústria 4.0 é essencial que, no decorrer do processo, as empresas identifiquem, entendam e solucionem as dificuldades que se apresentam. Observa-se, no entanto, que os modelos de implantação da Indústria 4.0 disponíveis na literatura não abordam as dificuldades em sua totalidade e nem as exploram devidamente e, quando fazem referência, consideram-nas parcialmente sem apresentar ações para resolvê-las. Adicionalmente, verifica-se na literatura a falta de pesquisas que identifiquem tais dificuldades e apresentem propostas para sua resolução. O objetivo deste trabalho é identificar as dificuldades inerentes à implantação da Indústria 4.0 e desenvolver um método para priorizar e propor ações para solucioná-las. O desenvolvimento do método apoia-se nos três ciclos do Design Science Research e resulta em um processo que consta de sete etapas. A aplicação em uma empresa multinacional demonstrou a adequação do método tanto pela abrangência quanto pela facilidade e resultados obtidos. Esta pesquisa contribui para com o desenvolvimento da teoria em relação à identificação e sistematização das dificuldades inerentes ao processo de implantação da Indústria 4.0. Adicionalmente, apoia os modelos de implantação existentes, com o intuito de promover uma implantação mais assertiva.

PALAVRAS-CHAVE: Indústria 4.0, Trajetória de Desenvolvimento da Indústria 4.0, Dificuldades na implantação da Indústria 4.0, Modelos de implantação.

VENDRAMINI, Matheus P. ***Difficulties inherent to the implementation of Industry 4.0: Proposal of a method to prioritize and propose solutions.*** 2020. 204p. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção – Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste.

ABSTRACT

Industry 4.0 is a concept that unites the main technological innovations applied to manufacturing processes in order to creating intelligent factories that manage and integrate resources and processes and that have the ability to predict future products and respond to the intensification of variety and complexity with low cost and low environmental impact. The purpose is to achieve a substantial increase in operational efficiency as well as the development of entirely new business models, services and products. The implementation of Industry 4.0 is a complex process and has been carried out slowly. Most companies do not make progress, because they are unable to draw up action plans, programs and implementation projects, due to the various difficulties and challenges resulting from the implementation of the technologies of Industry 4.0. Research suggests that for a successful implantation of Industry 4.0, it is essential that, during the process, companies identify, understand and solve the difficulties that arise. However, it is observed that the implantation models of Industry 4.0 available in the literature do not address the difficulties in their entirety and do not explore them properly and, when they refer, partially consider them without presenting actions to resolve them. Additionally, there is a lack of research in the literature that identifies such difficulties and presents proposals for their resolution. The objective of this work is to identify the difficulties inherent to the implantation of Industry 4.0 and to develop a method to prioritize and propose actions to solve them. The development of the method is supported by the three cycles of Design Science Research and results in a seven-step process. The application in a multinational company demonstrated the adequacy of the method both for its scope and for the ease and results obtained. This research contributes to the development of the theory in relation to the identification and systematization of the difficulties inherent to the implantation process of Industry 4.0. Additionally, it supports the existing implantation models, to promote a more assertive implantation.

KEYWORDS: *Industry 4.0, Industry 4.0 Development Path, Difficulties in implementing Industry 4.0, Implementation models.*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO	7
1.3. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	8
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO	9
2. REVISÃO DA LITERATURA	10
2.1. INDÚSTRIA 4.0	10
2.1.1. TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0	18
2.1.1.1. <i>BIG DATA</i> E <i>ANALYTICS</i> (BDA)	22
2.1.1.2. ROBÔS AUTÔNOMOS	23
2.1.1.3. SIMULAÇÃO	24
2.1.1.4. INTEGRAÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL	25
2.1.1.5. INTERNET DAS COISAS (<i>IoT</i>)	27
2.1.1.6. SEGURANÇA CIBERNÉTICA	27
2.1.1.7. DADOS EM NUVEM	28
2.1.1.8. MANUFATURA ADITIVA	29
2.1.1.9. REALIDADE AUMENTADA	30
2.2. ÍNDICE DE MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0 (ACATECH)	31
2.2.1. ESTÁGIO 1 – INFORMATIZAÇÃO	34
2.2.2. ESTÁGIO 2 – CONECTIVIDADE	34
2.2.3. ESTÁGIO 3 – VISIBILIDADE	35
2.2.4. ESTÁGIO 4 – TRANSPARÊNCIA	35
2.2.5. ESTÁGIO 5 – CAPACIDADE PREDITIVA	36
2.2.6. ESTÁGIO 6 – ADAPTABILIDADE	36
2.3. MODELOS DE IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 QUE CONSIDERAM AS DIFICULDADES	37
2.4. DIFICULDADES INERENTES À IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0	46
2.4.1. BAIXO APOIO E DEDICAÇÃO DA LIDERANÇA NO PROCESSO DE IMPLANTAÇÃO	48
2.4.2. BAIXO ENTENDIMENTO SOBRE A INDÚSTRIA 4.0	49
2.4.3. COMPLEXIDADE NA ANÁLISE DE DADOS	50
2.4.4. CRESCIMENTO ECONÔMICO BASEADO EM MÃO DE OBRA BARATA	52
2.4.5. DEFICIÊNCIA EM PESQUISA E DESENVOLVIMENTO (P&D)	53
2.4.6. DEFICIÊNCIA NA VISÃO E ESTRATÉGIA DAS OPERAÇÕES DIGITAIS	54
2.4.7. DIFICULDADE NA AQUISIÇÃO DE DADOS DE AUTOMAÇÃO	55
2.4.8. DIFICULDADE PARA MODELAR E INTEGRAR DADOS	56
2.4.9. DÚVIDAS SOBRE O BENEFÍCIO ECONÔMICO DOS INVESTIMENTOS DIGITAIS	57
2.4.10. FALTA DE COMPETÊNCIA NA APLICAÇÃO DE NOVOS MODELOS DE NEGÓCIO	58
2.4.11. FALTA DE CULTURA DIGITAL	59
2.4.12. FALTA DE INFRAESTRUTURA E REDES BASEADAS NA INTERNET	61
2.4.13. FALTA DE INTEGRAÇÃO DE PLATAFORMAS DE TECNOLOGIA	62
2.4.14. FALTA DE MÃO DE OBRA QUALIFICADA	63
2.4.15. FALTA DE PADRONIZAÇÃO DOS DADOS	65
2.4.16. FALTA DE SUPORTE E APOIO GOVERNAMENTAIS	66
2.4.17. MÁ QUALIDADE DE DADOS EXISTENTES	68
2.4.18. PROBLEMA DE COORDENAÇÃO E COLABORAÇÃO CLIENTE-FORNECEDOR	69
2.4.19. PROBLEMAS COM A REDUÇÃO DE OPORTUNIDADES DE EMPREGO	70
2.4.20. PROBLEMAS DE SEGURANÇA DOS DADOS	72
2.4.21. QUESTÕES LEGAIS	74
2.4.22. RELUTÂNCIA AO IMPLANTAR A INDÚSTRIA 4.0	75
2.4.23. RESTRIÇÕES FINANCEIRAS	76

3. ABORDAGEM METODOLÓGICA.....	78
3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	78
3.2. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	79
3.2.1. ETAPA 1 – REVISÃO DA LITERATURA	80
3.2.2. ETAPA 2 – DEFINIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE PESQUISA	80
3.2.2.1. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA (RSL)	81
3.2.2.2. <i>DESIGN SCIENCE RESEARCH</i>	82
3.2.2.3. PESQUISA DE CAMPO	87
3.2.2.4. ESTUDO DE CASO.....	88
3.2.3. ETAPA 3 – DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO PROPOSTO	89
4. MÉTODO PARA PRIORIZAR E PROPOR SOLUÇÕES PARA AS DIFICULDADES INERENTES À INDÚSTRIA 4.0.....	93
4.1. CICLO DE RELEVÂNCIA	93
4.1.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA	93
4.1.2. DEFINIÇÃO DO ESCOPO DA PESQUISA	95
4.1.3. DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS DO MÉTODO PARA PRIORIZAR E PROPOR SOLUÇÕES	99
4.2. CICLO DE RIGOR	100
4.2.1. SELEÇÃO DAS DIFICULDADES INERENTES À INDÚSTRIA 4.0.....	100
4.2.2. DEFINIÇÃO E HIERARQUIZAÇÃO DOS NÍVEIS DE IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0	101
4.2.3. ASSOCIAÇÃO DAS DIFICULDADES COM OS NÍVEIS DE IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0	102
4.3. CICLO DE PROJETO	108
4.3.1. ETAPA DE CONSCIENTIZAÇÃO	108
4.3.1.1. DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA	108
4.3.1.2. DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE SAÍDA	110
4.3.2. ETAPA DE SUGESTÃO.....	111
4.3.2.1. ELABORAÇÃO DO INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS.....	111
4.3.2.2. ANÁLISE E VALIDAÇÃO POR PROFISSIONAIS DA INDÚSTRIA E DA ACADEMIA	112
4.3.2.3. PESQUISA DE CAMPO	114
4.3.3. ETAPA DE DESENVOLVIMENTO	115
4.3.3.1. AVALIAR O NÍVEL DA INDÚSTRIA 4.0	115
4.3.3.2. ANALISAR AS DIFICULDADES ASSOCIADAS AO NÍVEL DA INDÚSTRIA 4.0.....	116
4.3.3.3. ANÁLISE DAS DEVOLUTIVAS DO INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS PELOS PROFISSIONAIS.....	118
4.3.3.4. CONSTRUÇÃO DA FERRAMENTA PARA DEFINIR O NÍVEL DE PRIORIZAÇÃO DA DIFICULDADE	123
4.3.3.5. ANÁLISE DO ÍNDICE DE MONITORAMENTO DA EVOLUÇÃO DAS DIFICULDADES (IMED)....	128
4.3.3.6. ANÁLISE DAS PROPOSTAS PARA RESOLUÇÃO DAS DIFICULDADES.....	130
4.3.4. ETAPA DE AVALIAÇÃO.....	145
4.3.4.1. ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA FABRICANTE DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS	146
• AVALIAR O NÍVEL DE IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0.....	147
• IDENTIFICAR AS DIFICULDADES ASSOCIADAS AO NÍVEL DE IMPLANTAÇÃO.....	148
• CLASSIFICAR AS DIFICULDADES VENCIDAS E A VENCER	149
• PRIORIZAR AS DIFICULDADES A SEREM VENCIDAS.....	150
• ANALISAR E SELECIONAR AS PROPOSTAS PARA A RESOLUÇÃO DAS DIFICULDADES PRIORIZADAS.....	153
• TOMAR AÇÕES NECESSÁRIAS PARA VENCER AS DIFICULDADES.....	153
• ANALISAR E ACOMPANHAR O IMED	154
4.3.5. ETAPA DE FINALIZAÇÃO	156
5. CONCLUSÕES	159
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	161
APÊNDICE I – INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS.....	182

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – EVOLUÇÃO INDUSTRIAL.....	10
FIGURA 2 – TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 POR AHUETT-GARZA E KURFESS (2018)	19
FIGURA 3 – TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 POR FRANK ET AL. (2019).....	20
FIGURA 4 – TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 POR DALMARCO (2019).....	20
FIGURA 5 – TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 POR KÜPPER (2019).....	22
FIGURA 6 – ÍNDICE DE MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0 – ACATECH	32
FIGURA 7 – ESTÁGIOS DA TRAJETÓRIA DE DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA 4.0	33
FIGURA 8 – CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA E PROCEDIMENTOS ADOTADOS.....	78
FIGURA 9 – ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	79
FIGURA 10 – ETAPAS DO PROCESSO DE REVISÃO DE LITERATURA EFETIVA	81
FIGURA 11 – CICLOS DO DESIGN SCIENCE RESEARCH	84
FIGURA 12 – ETAPAS DA DESIGN SCIENCE RESEARCH	85
FIGURA 13 – ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO PROPOSTO.....	90
FIGURA 14 – RSL: MODELOS DE IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 CONSIDERANDO A RESOLUÇÃO DAS DIFICULDADES INERENTES.....	94
FIGURA 15 – FLUXOGRAMA DA REVISÃO DE LITERATURA: DIFICULDADES NA INDÚSTRIA4.0	96
FIGURA 16 – PIRÂMIDE DOS NÍVEIS DE IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0	102
FIGURA 17 – ELEMENTOS PARA CONSTRUÇÃO DO INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS	111
FIGURA 18 – SEGMENTOS DE ATUAÇÃO DAS EMPRESAS DOS RESPONDENTES	119
FIGURA 19 – TEMPO DA EMPRESA NO MERCADO (EM ANOS).....	120
FIGURA 20 – NÚMERO DE FUNCIONÁRIOS DAS EMPRESAS DOS RESPONDENTES	120
FIGURA 21 – NÚMERO DE FUNCIONÁRIOS DAS EMPRESAS DOS RESPONDENTES	122
FIGURA 22 – CARGO OCUPADO PELOS RESPONDENTES	122
FIGURA 23 – FORMAÇÃO DOS RESPONDENTES	123
FIGURA 24 – TEMPO DE ATUAÇÃO DOS RESPONDENTES NAS EMPRESAS	123
FIGURA 25 – PLANILHA PARA DEFINIÇÃO DO NÍVEL DE PRIORIZAÇÃO DAS DIFICULDADES (NÍVEL 0).....	126
FIGURA 26 – PLANILHA PARA DEFINIÇÃO DO NÍVEL DE PRIORIZAÇÃO DAS DIFICULDADES (NÍVEL 1).....	127
FIGURA 27 – PLANILHA PARA DEFINIÇÃO DO NÍVEL DE PRIORIZAÇÃO DAS DIFICULDADES (NÍVEL 2).....	127
FIGURA 28 – PLANILHA PARA DEFINIÇÃO DO NÍVEL DE PRIORIZAÇÃO DAS DIFICULDADES (NÍVEL 3).....	128
FIGURA 29 – PLANILHA PARA DEFINIÇÃO DO NÍVEL DE PRIORIZAÇÃO DAS DIFICULDADES (NÍVEL 4).....	128
FIGURA 30 – PLANILHA PARA CÁLCULO DO IMED (NÍVEL 0).....	129
FIGURA 31 – LEVANTAMENTO DAS PROPOSTAS PARA SOLUCIONAR AS DIFICULDADES	131
FIGURA 32 – ETAPAS DE CONDUÇÃO DO ESTUDO DE CASO	146
FIGURA 33 – ESQUEMA DE PRIORIZAÇÃO DAS DIFICULDADES	152
FIGURA 34 – ANÁLISE E ACOMPANHAMENTO DO IMED.....	155
FIGURA 35 – MÉTODO PARA PRIORIZAR E PROPOR SOLUÇÕES PARA AS DIFICULDADES INERENTES À IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0	157

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – MODELOS DE IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 QUE CONSIDERAM AS DIFICULDADES	37
QUADRO 2 – FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DAS DIFICULDADES NOS MODELOS	45
QUADRO 3 – DIFICULDADES INERENTES À IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0	46
QUADRO 4 – TIPOS DE ARTEFATOS	83
QUADRO 5 – MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DOS ARTEFATOS	86
QUADRO 6 – DIFICULDADES CATEGORIZADAS EM GRUPOS	98
QUADRO 7 – ASSOCIAÇÃO DAS DIFICULDADES COM OS NÍVEIS DA INDÚSTRIA 4.0 ...	103
QUADRO 8 – DIFICULDADES POR NÍVEL DA PIRÂMIDE	109
QUADRO 9 – FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DAS DIFICULDADES RELACIONADAS AOS NÍVEIS DA INDÚSTRIA 4.0	117
QUADRO 10 – CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE IMPORTÂNCIA DA RESOLUÇÃO DAS DIFICULDADES (PELOS RESPONDENTES)	125
QUADRO 11 – PROPOSTAS PARA RESOLUÇÃO DAS DIFICULDADES INERENTES À IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0	131
QUADRO 12 – CLASSIFICAÇÃO DAS DIFICULDADES JÁ VENCIDAS	150
QUADRO 13 – AÇÕES A SEREM TOMADAS PELA EMPRESA	153

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API – *Application Programming Interface*

BDA – *Big Data and Analytics*

BI – *Business Intelligence*

CAD – *Computer-Aided Design*

CAM – *Computer-Aided Manufacturing*

CFD – *Computer Fluid Dynamics*

CLP – *Controlador Lógico Programável*

CNC – *Computer Numeric Control*

CNI – *Confederação Nacional da Indústria*

CPS – *Cyber-Physical Systems*

ERP – *Enterprise Resource Planning*

FEA – *Finite Elements Analysis*

FIESP – *Federação das Indústrias do Estado de São Paulo*

KPI – *Key Performance Indicator*

IMED – *Índice de Monitoramento da Evolução das Dificuldades*

IoS – *Internet of Service*

IoT – *Internet of Things*

LGPD – *Lei Geral de Proteção dos Dados Pessoais*

M2M – *Machine to Machine*

MES – *Manufacturing Execution System*

MRP – *Manufacturing Resource Planning*

OLE – *Object Linking and Embedding*

OPC – *OLE for Process Control*

P&D – *Pesquisa e Desenvolvimento*

PME – *Pequenas e Médias Empresas*

RAMI 4.0 – *Reference Architectural Model for Industry 4.0*

RFID – *Radio-Frequency Identification*

RSL – *Revisão Sistemática da Literatura*

SAE – *Society of Automotive Engineer*

SCADA – *Supervisory Control and Data Acquisition*

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SOA – *Service-Oriented Architecture*

SPE – Sociedade de Propósito Específico

TI – Tecnologia da Informação

TIC – Tecnologia da Informação e Comunicação

UA – *Unified Architecture*

VPN – *Virtual Private Network*

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo inicial apresenta uma visão geral da Indústria 4.0 como evolução da maneira de gerenciar os sistemas de produção e agregando vantagem competitiva para as empresas. Apresenta, também, um panorama sobre as principais restrições que as empresas enfrentam quanto à implantação da Indústria 4.0 destacando a importância de identificá-las e mitigá-las. Também são destacados os objetivos, uma breve visão sobre o procedimento metodológico e a estrutura da pesquisa.

1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Com o intuito de se diferenciar perante a concorrência e estabelecer seus processos mais robustos, as empresas manufatureiras necessitam aplicar novas tecnologias em seus processos. Tecnologias como automação, digitalização, integração de máquinas/ processos via Internet das Coisas (*IoT*), autonomia em tomadas de decisão, entre outros, tornam os processos eficientes de forma a responderem o mais rápido possível às variáveis do mercado (concorrência, mudança de demanda, redução de custos, entre outros) e obterem maior vantagem competitiva sobre os concorrentes. Dessa maneira, Hermann *et al.* (2015) definem a Indústria 4.0, também chamada de quarta revolução industrial.

O termo "Indústria 4.0" tem sido divulgado para ressaltar uma nova revolução industrial, e vem sendo objeto de estudo em empresas de manufatura (QIN *et al.*, 2016). Indústria 4.0, segundo Pan *et al.* (2015), é um termo originado na área de engenharia de manufatura e tem como característica principal a comunicação entre componentes. Esta comunicação pode ser intrínseca à intranet ou internet externa e vai direcionar conjuntos de dados demasiadamente grandes para serem armazenados em uma estrutura de banco de dados convencional. Por isso, as tecnologias para a análise de "big

data" terão de ser empregadas para controlar adequadamente e manipular esses conjuntos de dados.

É um conceito de indústria que une as principais inovações tecnológicas no que diz respeito à automação, controle e tecnologia da informação, aplicadas aos processos de manufatura. A partir de Sistemas Físico Cibernéticos (CPS), Internet das Coisas e Internet dos Serviços, os processos produtivos tendem a tornarem-se mais eficientes, autônomos e customizáveis (CITISYSTEMS, 2016). O fundamento básico da Indústria 4.0 sugere que empresas poderão criar redes inteligentes ao longo da cadeia de valor que podem controlar os módulos da produção de forma autônoma. As fábricas inteligentes serão capazes e terão autonomia para gerenciar manutenções, prever falhas nos processos e se adaptar aos requisitos e mudanças não planejadas na produção.

O impacto econômico da quarta revolução industrial é grande. Como promessa da Indústria 4.0 espera-se o aumento substancial da eficiência operacional bem como o desenvolvimento de modelos de negócios, serviços e produtos inteiramente novos (HERMANN *et al.*, 2015).

O Instituto Fraunhofer publicou em 2013, o resultado de um estudo para "Indústria 4.0" com a participação de 661 empresas, além de 21 especialistas de renome na indústria, cientistas e representantes de associações e sindicatos. Foram identificados três relevantes temas: Lidar com a complexidade; Capacidade de inovação; Flexibilidade (SPATH, 2013). Bauernhansl (2014) enfatizou que, devido à variedade de tecnologias utilizadas, um novo aumento da individualização e personalização de produtos e serviços, a "complexidade" vai explodir no futuro.

Hermann *et al.* (2014) afirmam que uma característica de uma fábrica da Indústria 4.0 é a sua capacidade de prever produtos futuros e responder à intensificação da variedade e complexidade com baixo custo e baixo impacto ambiental.

A Indústria 4.0 apoia desde a customização dos produtos até a produção em larga escala com flexibilidade e integração de clientes e parceiros de negócios em processos de criação de valor. Isso permite novos modelos de negócio dentro da empresa e entre empresas. As operações individuais que agregam valor podem ser ligadas em rede umas com as outras e podem ser usadas em sincronia. Devido à flutuação do mercado, uma produção flexível será suportada, de forma a responder em tempo hábil a uma permanente mudança de requisitos (RENNUNG *et al.*, 2016).

Um dos maiores impactos causados pela Indústria 4.0, segundo Citisystems (2016), será uma mudança que afetará o mercado como um todo. Consiste na criação de novos modelos de negócios. Em um mercado cada vez mais exigente, muitas empresas já procuram integrar ao produto necessidades e preferências específicas de cada cliente. A customização prévia do produto por parte dos consumidores tende a ser uma variável a mais no processo de manufatura, mas as fábricas inteligentes serão capazes de levar a personalização de cada cliente em consideração, adaptando-se às preferências.

De acordo com o relatório da Academia Nacional de Ciência e Engenharia Alemã – ACATECH (2013), as organizações estabelecerão conexão entre seus maquinários, sistema de armazenamento e instalações produtivas por meio do Sistema Físico Cibernético. No ambiente de fabricação, esses sistemas físico-cibernéticos englobam máquinas inteligentes, sistemas de armazenamento e instalações produtivas capazes de trocar informações de forma autônoma, desencadear ações e controlarem-se automática e independentemente.

Entretanto, é necessário obter conhecimento de dados para transformar a empresa em uma organização ágil e permitir processos rápidos de tomada de decisão e adaptação em todas as partes do negócio e em todas as áreas de processos do negócio. A agilidade oferece às empresas vantagem competitiva significativa em um ambiente disruptivo (BAUERNHANSL, 2014). Assim, a Indústria 4.0 mudará o projeto, fabricação, operação e serviço de

produtos e sistemas de produção. A conectividade e a interação entre peças, máquinas e pessoas farão com que o sistema de produção seja 30% mais rápido e 25% mais eficiente e reforce a customização em massa. Com isso, a manufatura passa por uma grande transformação de células individuais isoladas para uma completa integração de elementos que são interconectados e se comunicam obtendo um sistema de produção flexível, rápido e de alta qualidade. E como resultado espera-se um grande benefício, empregabilidade e impacto nos investimentos de em manufatura (GANZARAIN e ERRASTI, 2016).

A implantação da Indústria 4.0 tem sido realizada de forma lenta, e para entender os motivos, algumas pesquisas foram conduzidas. Cite-se, entre elas, um estudo realizado pela IBM em 2015 que mostrou que as principais restrições para a implantação da Indústria 4.0 nas empresas estão relacionadas às dificuldades que surgem ao longo desse processo (EROL *et al.*, 2016). Dalenogare *et al.* (2018) destacam que grande parte das empresas não obtém progresso devido às várias dificuldades e desafios decorrentes da implementação das tecnologias da Indústria 4.0. Ainda segundo os autores, os estudos demonstram que a implementação da indústria 4.0 é um processo complexo e muitas empresas, em diferentes países, estão enfrentando problemas devido à diferentes dificuldades.

Segundo os pesquisadores as principais dificuldades para implantação da Indústria 4.0 estão associadas a uma diversidade de fatores. Para Erol *et al.* (2016), por exemplo, as dificuldades estão associadas aos altos investimentos necessários e aos elevados custos operacionais, além de questões relacionadas com a inadequação das infraestruturas e tecnologias de TI existentes, entre outras. Ainda nessa direção, Müller e Voigt (2017), Kiel *et al.* (2017) e Erol *et al.* (2016), sugerem que a escassez de recursos financeiros são obstáculos significativos à implementação.

Kagermann *et al.* (2013), por sua vez, afirmam que a jornada rumo à Indústria 4.0 exige que as empresas se esforcem para entender os conceitos e se concentrem na resolução dos desafios que a Indústria 4.0 traz consigo. Nessa

linha, Erol *et al.* (2016), relatam que experiências de diversos workshops de orientação estratégica com o envolvimento de várias indústrias mostraram que as empresas têm sérios problemas para entenderem a ideia geral da Indústria 4.0 e seus conceitos devido à sua complexidade e ao *know-how* necessário. Os autores relatam que, de um lado, as empresas não conseguem relacionar esses novos conceitos às suas estratégias. Por outro, elas enfrentam dificuldades para avaliar seu nível de desenvolvimento em relação à Indústria 4.0 e, portanto, não conseguem traçar planos de ação, programas e projetos voltados à sua implementação. Já Adolph *et al.* (2014) e Kiel *et al.* (2017) assumem que um dos principais desafios para a implantação da Indústria 4.0 é a falta de mão de obra qualificada e a necessidade de treinamento de toda a equipe para atender os novos conceitos.

Adicionalmente, Müller e Voigt (2017) afirmam que baixos graus de padronização, falta de integração e preocupações com a segurança dos dados também podem dificultar a adoção da Indústria 4.0. Horváth e Szabó (2019) observam que problemas de padronização podem ocorrer nas relações entre empresas (fornecedor-cliente), bem como nas ferramentas e sistemas dentro da própria empresa.

Observa-se também que, embora as dificuldades sejam um fator importante a ser considerado na implantação da Indústria 4.0, os modelos de implantação disponíveis na literatura não as abordam em sua totalidade e nem as exploram devidamente. Quando fazem referência às dificuldades, consideram-nas parcialmente e não discutem ações para resolvê-las, desamparando as empresas quanto à resolução de possíveis problemas que elas possam enfrentar no decorrer do processo de implantação.

O modelo de implantação da Indústria 4.0 proposto por Zhou *et al.* (2015), por exemplo, leva em consideração aspectos relevantes da Indústria 4.0 em relação ao planejamento estratégico, principais tecnologias, oportunidades e desafios. Os autores citam como principais dificuldades a redução de oportunidades de emprego e a falta de integração de sistemas. Por sua vez, Chien *et al.* (2017), considerando como dificuldades importantes a deficiência

que as empresas têm ao introduzir estratégias específicas e a infraestrutura deficiente para a Indústria 4.0, apresentam a proposta de um modelo de "Indústria 3.5" como uma estratégia híbrida entre a Indústria 3.0 e a Indústria 4.0. Já Ibarra *et al.* (2018) identificam um conjunto de recursos, questões e requisitos e sugerem três abordagens diferentes para aproximar as empresas da Indústria 4.0, citando a importância de se resolver dificuldades como a definição do conceito da Indústria 4.0 e a falta de competência na aplicação de novos modelos de negócio. Huang *et al.* (2019) identificam as principais tecnologias inerentes à Indústria 4.0 reforçando que as dificuldades mais agravantes no processo são a falta de mão de obra qualificada e restrições financeiras. Adicionalmente, observa-se que nenhum dos autores aborda quais são as dificuldades e como vencê-las.

As indústrias precisarão superar muitas dificuldades para implementarem com sucesso os conceitos da Indústria 4.0. Dependendo do nível de maturidade da Indústria 4.0 no qual a empresa se encontra, as dificuldades se tornam ainda mais específicas, tanto no que diz respeito ao entendimento, quanto na aplicação dos conceitos (KAMBLE *et al.*, 2018). Os autores complementam que é essencial que as empresas identifiquem as dificuldades relacionadas à implantação da Indústria 4.0 e as compreendam para ajudar os profissionais da indústria a superá-las. A superação de todos os obstáculos tornará a implementação da Indústria 4.0 mais rápida e bem-sucedida nas indústrias de manufatura.

De acordo com Kamble *et al.* (2018), é necessário identificar os fatores que possam ajudar na elaboração de uma estratégia de mitigação dessas dificuldades, o que pode levar a uma adoção mais suave e assertiva da Indústria 4.0

Pesquisadores como Raj *et al.* (2020) sugerem que seja feito um mapeamento rigoroso das dificuldades, desafios e limitações que as empresas enfrentam ao pôr em prática conceitos da Indústria 4.0. Poucos pesquisadores realizaram pesquisas científicas sobre as barreiras e dificuldades relacionadas à adoção da Indústria 4.0. Algumas das pesquisas

realizadas são baseadas em dados empíricos por meio de levantamento de informações (*surveys*) como, por exemplo, as de Türkes *et al.* (2019) e Stentoft *et al.* (2019), e estudos de caso como os conduzidos por Horváth e Szabó (2019) e Machado *et al.* (2019).

Contudo, a identificação dos problemas e dificuldades é somente a primeira parte da implantação de um novo conceito. É necessário que as dificuldades sejam priorizadas de forma correta a fim de obter maior assertividade e velocidade na implementação (SCHWABER e SUTHERLAND, 2016).

A partir da contextualização apresentada, surge a seguinte questão de pesquisa: “Como podem ser priorizadas e solucionadas as dificuldades inerentes à implantação das tecnologias da Indústria 4.0?”

1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um método para priorizar e apresentar soluções para as dificuldades inerentes à implantação da Indústria 4.0. Para isso, a partir da avaliação do nível de implantação da Indústria 4.0 em que a empresa se encontra (tendo como apoio o Índice de Maturidade da ACATECH), o método proposto prioriza as dificuldades a serem vencidas de acordo com o nível avaliado e ainda apresenta soluções para superá-las.

Esta pesquisa tem ainda como objetivos específicos:

- Identificar as dificuldades inerentes à implantação da Indústria 4.0;
- Explorar as dificuldades de forma a descrevê-las;
- Estabelecer uma lógica de priorização de resolução das dificuldades;
- Elencar soluções para resolução das dificuldades.

Para o cumprimento dos objetivos serão executadas revisões sistemáticas da literatura para identificar os modelos de implantação da Indústria 4.0 existentes que abordam as dificuldades, e para mapear as dificuldades.

O desenvolvimento do método será suportado pelo *Design Science Research*. Esse procedimento de pesquisa apresenta etapas de rigor científico para a constituição do método proposto, apresentando as justificativas e linha de raciocínio. A partir desse procedimento, também será possível elaborar um instrumento de coleta de dados que viabilizará a execução de uma pesquisa de campo para obtenção da priorização e soluções das dificuldades, a partir de respostas de profissionais da indústria e da academia.

Para atender a etapa de avaliação do método proposto, será conduzido um estudo de caso, identificando e validando as etapas a serem percorridas.

Como resultado do estudo espera-se que as empresas possam utilizar do método proposto como complemento e apoio aos modelos de implantação da Indústria 4.0 existentes na literatura, possibilitando a aceleração e assertividade na implementação e/ou evolução da Indústria 4.0, propiciando maior vantagem competitiva à organização.

1.3. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

O presente trabalho visa propor um método para priorizar e propor soluções para as dificuldades inerentes ao processo de implantação das tecnologias da Indústria 4.0 em seus processos, podendo suportar qualquer empresa industrial, não abrangendo as empresas voltadas a serviços. O estudo possibilitará que as empresas sigam um método capaz de direcioná-las no que diz respeito a como priorizar e solucionar as dificuldades. Portanto, não é objetivo do estudo propor um plano ou modelo de implantação da Indústria 4.0, mas sim um método que poderá servir como complemento e apoio às pesquisas já existentes de maneira a obter resultados de sucesso em menor tempo com maior vantagem competitiva.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

O desenvolvimento deste trabalho está estruturado da seguinte maneira:

- Capítulo 1 – Introdução: contextualização dos principais assuntos a serem abordados no trabalho. Definição da justificativa e objetivos relacionados ao estudo a ser conduzido;
- Capítulo 2 – Revisão da Literatura: apresentação do mapeamento da literatura e estrutura conceitual teórica sobre Indústria 4.0 e sua aplicação em empresas, tecnologias, bem como o Índice de Maturidade da Indústria 4.0 da ACATECH, modelos de implantação que consideram as dificuldades e o mapeamento das dificuldades;
- Capítulo 3 – Metodologia: descrição do método de estudo utilizado e procedimentos metodológicos adotados para a condução do trabalho;
- Capítulo 4 – Desenvolvimento: apresentação do desenvolvimento da pesquisa, conforme procedimentos metodológicos definidos no Capítulo 3 do trabalho;
- Capítulo 5 – Conclusões: registro dos resultados e conclusões obtidos durante a realização do trabalho;
- Referências Bibliográficas: apresentação do referencial bibliográfico utilizado no trabalho.
- Apêndice: apresentação do instrumento de coleta de dados utilizado para desenvolvimento do método proposto.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo de Revisão da Literatura serão abordados temas importantes para o entendimento e para a construção do projeto, tais como: Indústria 4.0 e Tecnologias utilizadas para sua implantação, o Índice de Maturidade da Indústria 4.0 da ACATECH e modelos de implantação que consideram as dificuldades. Também são abordadas as dificuldades inerentes à implantação da Indústria 4.0.

2.1. INDÚSTRIA 4.0

Antes de explorar o termo Indústria 4.0, é importante explanar sobre as primeiras revoluções industriais, a fim de criar uma lógica de pensamento e comparar a evolução da indústria, do início à atualidade. As primeiras três revoluções industriais são: mecanização, introdução da eletricidade (eletrificação) e automação (Figura 1).

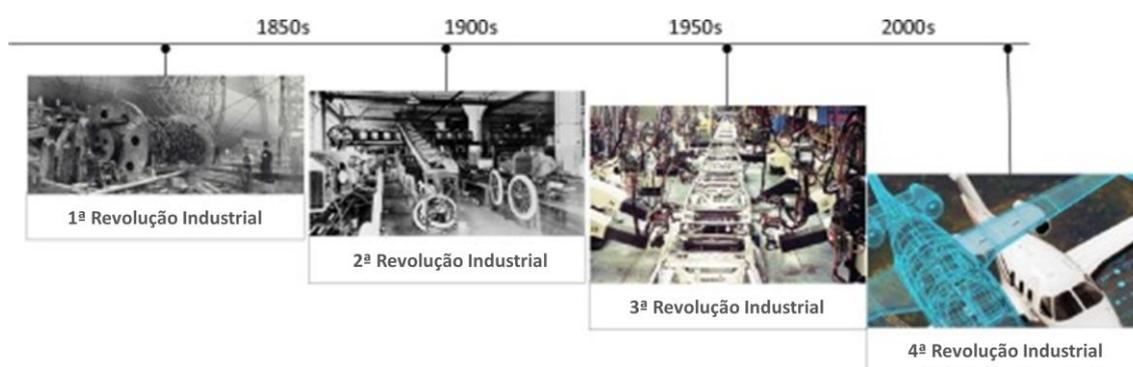


FIGURA 1 – EVOLUÇÃO INDUSTRIAL

FONTE: SNUDDEN (2019).

Juntamente às melhorias de fabricação, essas revoluções industriais trouxeram mudanças altamente disruptivas para a vida cotidiana. A Primeira Revolução Industrial, entre 1760 e 1830, começou na Grã-Bretanha e se espalhou pela Europa e pelos Estados Unidos (SABO, 2015). A mecanização

começou nos séculos XVIII e XIX, onde o vapor e a água foram aproveitados para operar grandes fábricas. A introdução de motores a vapor permitiu a mecanização geral de indústrias que substituíram o método artesanal de “know-how” de um indivíduo com a alta e rápida produção de bens de consumo (Schuh *et al.*, 2014). Foi também nesse período que o carvão começou a substituir outros combustíveis, como a madeira. Operários eram obrigados a administrar essas fábricas, de modo que as populações passaram de primárias agrárias para metropolitanas. Como uma observação relevante, o principal produto que essas fábricas criaram foram têxteis, tecnologia que ainda é usada na atualidade para a produção de tecidos feitos de fibra avançada (SNUDDEN, 2019).

Este cenário teve o carvão como principal fonte de energia e a extração de minério de ferro foi efetivamente explorada no século XIX. Braudel (2009) e Hobsbawn (2011) citam que o ferro passou a ser utilizado na fabricação de máquinas apenas no final do século; a metalurgia ficou restrita à produção de ferramentas, pregos, parafusos, barras de ferro, entre outros. Em alguns lugares da Inglaterra, o berço da Primeira Revolução Industrial, o maquinário industrial ainda era feito de madeira.

A transição para a Segunda Revolução Industrial ocorreu entre 1840 e 1870 e teve como principal característica o uso de eletricidade para produção em massa que causou um impacto significativo sobre a produtividade no início do século XX (SCHUH *et al.*, 2014; SABO, 2015).

A introdução da eletricidade aos processos impulsionou o desenvolvimento de modernas técnicas de linha de produção, mas também melhorou as condições de vida das populações, proporcionando iluminação e aquecimento mais seguros e limpos, entre outros. O exemplo clássico dessa forma de produção foi a produção em série implementada por Henry Ford até os anos 1910. Essa revolução começou não apenas nos Estados Unidos, mas também na Grã-Bretanha e na Alemanha. Além disso, outro fator importante nessa mudança foi o desenvolvimento tecnológico do Japão. O resultado das

mudanças foi um rápido desenvolvimento industrial e um aumento na qualidade de vida da população (SABO, 2015).

A Terceira Revolução Industrial, também conhecida como revolução digital, tem como foco a transição da tecnologia analógica para a digital, tendo como símbolo definitivo a invenção de circuitos integrados que permitam aumentar a capacidade computacional e diminuir os custos de produção. Como resultado, a indústria adaptou-se amplamente à tecnologia da informação (TI) e tem um impacto significativo no crescimento do desempenho econômico até a atualidade (SCHUH *et al.*, 2014). A tecnologia digital guiou essa mudança, assim como a tecnologia de comunicação, com a qual as fábricas adotaram circuitos lógicos digitais que marcaram o início da era da informação (SNUDDEN, 2019).

Os processos de fabricação de produtos complexos só eram gerenciáveis devido à Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), implantada em cerca de 90% de todos os processos de fabricação industrial (SABO, 2015). Segundo Memmi (2014), o uso da TI tornou-se a base dos canais de comunicação. A Terceira Revolução Industrial é caracterizada pelo uso de microprocessadores, CAD (*Computer-Aided Design*), fibra óptica, telecomunicações, biogenética e laser (FINKELSTEIN e NEWMAN, 1984). A terceira revolução industrial foi marcada pela implementação de computadores, levando à automação. Fora da fabricação, os computadores revolucionaram todas as partes da vida, tanto empresariais quanto pessoais (SNUDDEN, 2019).

Conforme descrito pelo Fórum Econômico Mundial, a quarta revolução industrial traz níveis sem precedentes de conectividade na vida cotidiana. A mudança cultural que enfrentou-se na última década a partir desta tecnologia é muitas vezes perdida. A Economia *On-Demand* é um exemplo disso, que é definida como a economia trazida pela tecnologia capaz de atender a demanda de uma pessoa imediatamente. Há muitos exemplos disso, como ser capaz de pedir comida, banco, assistir a temporadas inteiras de

programas de televisão, tudo imediatamente de aplicativos em um dispositivo móvel (SCHWAB, 2016).

A Quarta Revolução Industrial, também chamada Indústria 4.0, representa uma mudança profunda na estrutura organizacional das indústrias. Pela primeira vez, uma revolução industrial é avaliada *a priori* e não *ex-post*, o que, em outras palavras, significa uma previsão do que está prestes a acontecer e não uma avaliação do que já aconteceu (Hermann *et al.*, 2015). O resultado dessa etapa da Evolução Industrial será a Fábrica Inteligente, na qual os Sistemas físico-cibernéticos (CPS), a Internet das Coisas (*IoT*) e *Big Data* são as principais tecnologias para atingir os objetivos de produção.

O aumento de produtividade é o núcleo de toda revolução industrial. As três primeiras revoluções industriais tiveram um forte impacto nos processos industriais, permitindo aumentar a produtividade e a eficiência por meio do uso de desenvolvimentos tecnológicos disruptivos, como motores a vapor, eletricidade ou tecnologia digital (SCHUH *et al.*, 2014).

A Indústria 4.0, que representa uma quarta revolução industrial, é um sistema tecnológico complexo tem sido amplamente discutido e pesquisado, tendo grande influência no setor industrial, uma vez que introduz avanços relevantes relacionados a fábricas inteligentes e futuras. Este conceito emergente da Indústria 4.0 é um termo abrangente para um novo paradigma industrial que abrange um conjunto de futuros desenvolvimentos industriais em relação a Sistemas Físico-cibernéticos (CPS), Internet das Coisas (*IoT*), Internet de Serviços (*IoS*), Robótica, *Big Data*, *Cloud Manufacturing* e Realidade Aumentada (PEREIRA e ROMERO, 2017).

Por outro lado, Muhuri *et al.* (2019) complementam que a quarta revolução industrial não é apenas sobre a indústria. Trata-se de transformação global usando integração digital e engenharia inteligente. É o próximo nível de fabricação, no qual as máquinas se redefinirão em como se comunicam e executam funções individuais.

Indústria 4.0 é um conceito que surgiu nos devido aos avanços tecnológicos e desenvolvimentos disruptivos no setor industrial global. O termo da Quarta Revolução Industrial apareceu em primeiro lugar em um artigo publicado na Feira de Hannover em 2011, pelo governo alemão, que resultou de uma iniciativa sobre a estratégia de alta tecnologia da Alemanha para 2020. Baseia-se em conceitos e perspectivas anteriores que evoluíram ao longo dos anos. O objetivo é estabelecer a Alemanha como um líder integrado da indústria e fornecedor do mercado (KAGERMANN *et al.*, 2013; ZHOU *et al.*, 2015; PARK, 2017).

As publicações inerentes à Indústria 4.0 vêm crescendo ano após ano, não só nos países de origem europeia (berço da Indústria 4.0), mas também nos demais continentes (VENDRAMINI e SIMON, 2018). Alguns pesquisadores têm definido a Indústria 4.0. Kagermann *et al.* (2013) dizem que Indústria 4.0 é a introdução de novos produtos e serviços como sistemas embarcados que podem se tornar responsivos e interativos, podendo ser gerenciados e rastrear suas atividades em tempo real, otimizando toda a cadeia de valor e fornecendo informações relevantes sobre seus produtos durante seu ciclo de vida. Já Hermann *et al.* (2016), de forma resumida, citam que a Indústria 4.0 pode ser entendida como um termo colaborativo para tecnologias e conceitos que engloba toda a cadeia de valor das organizações.

Pereira e Romero (2017) definem Indústria 4.0 como um novo paradigma de fabricação altamente focado na criação de produtos e processos inteligentes, por meio do uso de máquinas inteligentes e da transformação de sistemas convencionais de manufatura em fábricas inteligentes. Em concordância, Zhou *et al.* (2015) dizem que a Indústria 4.0 envolve mudanças rápidas e disruptivas que abrangem a fabricação digital, a comunicação em rede, as tecnologias de computação e automação, bem como muitas outras áreas relevantes. Entende-se como um novo estágio industrial em que há uma integração entre sistemas de operações de manufatura e tecnologias da informação e comunicação (TIC) - especialmente a Internet das Coisas (IoT) -

formando os chamados Sistemas Físico-cibernéticos (CPS) (WANG *et al.*, 2015).

O futuro da produção, como previsto pela Indústria 4.0, consiste na integração generalizada, na qual cada elemento de fabricação troca informações de forma autônoma, aciona ações e se controla de forma independente (WEYER *et al.*, 2015). Essa abordagem de manufatura que pretende criar processos mais inteligentes é caracterizada por pequenas redes de produção descentralizadas e digitalizadas que agem sem intervenção humana e controlam autonomamente suas operações, dependendo de suas mudanças e exigências ambientais (EROL *et al.*, 2016).

Além disso, a Indústria 4.0 levará a mudanças profundas nos setores industrial e de manufatura, tendo fortes impactos ao longo de toda a cadeia de valor e proporcionando um conjunto de novas oportunidades em relação aos modelos de negócios, tecnologia de produção, criação de novos empregos e organização do trabalho (PEREIRA e ROMERO, 2017).

O conceito da Indústria 4.0 pode ser visto como uma abordagem fundamentalmente nova que reunirá os mundos físico e digital. Pesquisadores e empresas têm diferentes pontos de vista sobre o conceito e visões da Indústria 4.0, mas há um consenso sobre os principais aspectos que abordam a visão futura de fabricação (Qin *et al.* 2016) como fábrica Inteligente, produtos inteligentes, modelos de negócios e clientes. O termo “inteligente” está se tornando central na estrutura da Indústria 4.0, embora não seja fácil encontrar uma definição precisa. No entanto, uma possível definição desse conceito que atenda à visão de vários autores pode estar associada a dispositivos independentes e autônomos que podem se comunicar em tempo real e cooperar em um ambiente inteligente com outros dispositivos inteligentes, tomando decisões e realizando ações baseadas na informação obtida (RADZIWON *et al.*, 2014).

A Fábrica Inteligente é um dos aspectos chave que aborda esta nova revolução industrial, tendo resultado de vários desenvolvimentos que

consistiram na integração, digitalização e utilização de estruturas flexíveis e soluções inteligentes (HAJRIZI, 2016). Essas soluções de manufatura permitem a criação de um ambiente inteligente ao longo de toda a cadeia de valor, possibilitando a realização de processos flexíveis e adaptativos (RADZIWON *et al.*, 2014). Um ambiente de fábrica inteligente consiste em uma nova intercomunicação integrativa em tempo real entre todos os recursos de manufatura (sensores, atuadores, transportadores, máquinas, robôs, etc.) (Qin *et al.* 2016), o que aumenta a eficiência da fabricação e permite atender requisitos de mercado altamente complexos (KAGERMANN *et al.*, 2013).

Os produtos inteligentes são integrados a toda a cadeia de valor como uma parte ativa dos sistemas, monitorando suas próprias etapas de produção por meio de armazenamento de dados, podendo solicitar os recursos necessários e controlar os processos de produção de forma autônoma. Além disso, os produtos inteligentes, como produtos finais, devem ser autoconscientes sobre os parâmetros que devem ser usados, fornecendo informações sobre seu *status* durante todo o seu ciclo de vida (KAGERMANN *et al.*, 2013).

Produtos inteligentes podem ser descritos como CPS devido à sua capacidade de permitir a conexão entre os mundos físico e virtual (JAZDI, 2014). Esses produtos são caracterizados por vários recursos importantes, como computação, armazenamento de dados, comunicação e interação com o ambiente, sendo capazes de se identificar, armazenando dados sobre o processo de produção e fornecendo informações sobre etapas adicionais relacionadas à produção e manutenção. Além disso, os produtos inteligentes possuem um alto grau de autonomia, sendo capazes de perceber e interagir de forma autônoma com seu ambiente físico ao longo de seu ciclo de vida (SCHMIDT, 2015).

Modelos de Negócios estão sendo altamente influenciados pela Indústria 4.0, uma vez que este novo paradigma de manufatura implica uma nova forma de comunicação ao longo das cadeias de suprimentos. A modelagem de negócios está mudando nos últimos anos devido a novos requisitos industriais e de mercado e novos modelos de negócios estão surgindo, permitindo a

criação de ambientes colaborativos (GLOVA *et al.*, 2014). Existem muitas oportunidades para otimizar processos de criação de valor e integração através da cadeia de valor, a fim de alcançar a capacidade de auto-organização e a integração e comunicação em tempo real (QIN *et al.*, 2016).

Os clientes são um fator-chave em todos os modelos de negócios e a Indústria 4.0 traz um conjunto de vantagens para eles, melhorando a comunicação ao longo da cadeia de valor e aprimorando a experiência do cliente. O alto nível de integração e a troca autônoma de informações permitirão mudanças nos requisitos em tempo real. Além disso, os produtos inteligentes fornecerão informações relevantes a seus usuários sobre seus parâmetros de status e utilização (QIN *et al.* 2016).

Alguns autores têm publicado sobre os benefícios que a Indústria 4.0 agrega às empresas. Telukdarie *et al.* (2018) listam como benefícios a visibilidade de negócios global abrangente, em tempo real e reproduzível, o gerenciamento de custos, pois todas as soluções são desenvolvidas e gerenciadas centralmente, a capacidade de monitorar e gerenciar qualquer aspecto do negócio, desde o chão de fábrica até a alta gerência, com todos os dados disponíveis para a tomada de decisões.

Dalenogare *et al.* (2018) são mais específicos no que diz respeito aos benefícios. Do ponto de vista do mercado, eles pontuam o oferecimento de novas soluções digitais para os clientes, como serviços baseados na Internet embutidos em produtos. Já do ponto de vista operacional, listam: redução de tempos de *setup*; redução de custos de mão-de-obra e material; redução do tempo de processamento; e maior produtividade dos processos de produção.

Hermann *et al.* (2014) citam como benefícios da quarta revolução industrial a previsão de produtos futuros, resposta à intensificação da variedade e complexidade dos produtos, baixo custo e baixo impacto ambiental.

Já Ganzarain e Errasti (2016) detalham em sua pesquisa que os maiores benefícios da Indústria 4.0 são: a conectividade e a interação entre peças,

máquinas e pessoas; sistemas de produção 30% mais rápidos e 25% mais eficientes com relação aos tradicionais; a personalização em massa; e sistema de produção flexível, rápido e de alta qualidade.

Resumidamente, as fábricas inteligentes estão conectadas a uma cadeia de valor para atender aos requisitos do mercado e consistem na integração entre máquinas e materiais por meio de interfaces padronizadas. Materiais inteligentes e produtos inteligentes são rastreados ao longo de todo o seu ciclo de vida, permitindo alto grau de personalização. A Indústria 4.0 está trazendo o surgimento de novos modelos de negócios que melhor atendem às necessidades de mudança dos clientes, por meio da capacidade de comunicação em tempo real ao longo de toda a cadeia. (EROL *et al.*, 2016).

2.1.1. TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0

Os efeitos das tecnologias relacionadas à Indústria 4.0 vão muito além do chão de fábrica (SNUDDEN, 2019). Cada pesquisador considera diferentes tecnologias existentes para suportar a Indústria 4.0.

Ahuett-Garza e Kurfess (2018) consideram que a Internet das Coisas (IoT) é a principal delas, sendo que todas as demais circulam em sua volta, conforme ilustrado na Figura 2.

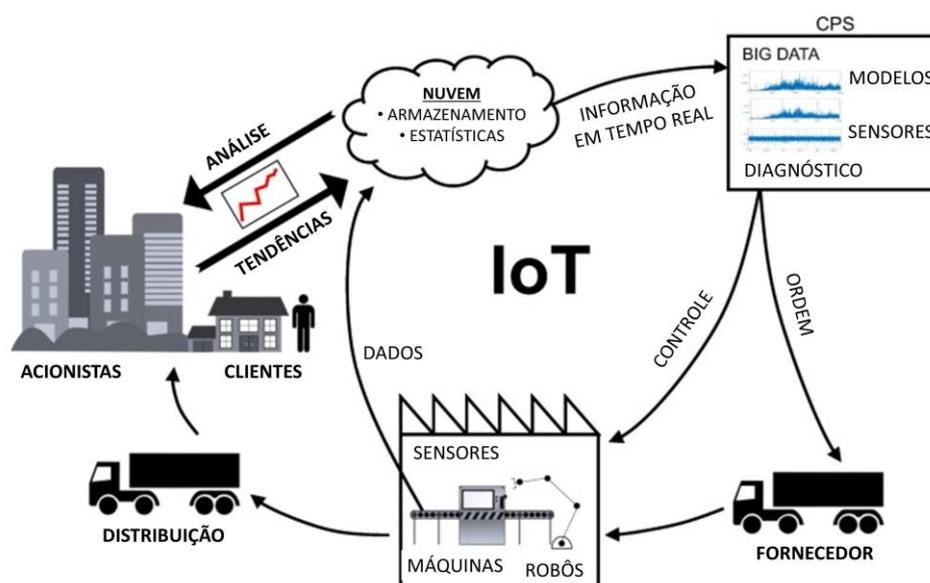


FIGURA 2 – TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 POR AHUETT-GARZA E KURFESS (2018)

FONTE: AHUETT-GARZA E KURFESS (2018)

Por sua vez, Frank *et al.* (2019) abordam as tecnologias de acordo com a Figura 3. No centro da estrutura, os autores posicionam o que chamam de “Tecnologias *front-end*” da Indústria 4.0 porque as quatro dimensões “inteligentes” estão preocupadas com as necessidades operacionais e de mercado. Portanto, elas têm um objetivo de aplicação final para a cadeia de valor das empresas, como mostra a seta esquemática. As “tecnologias de base”, que incluem tecnologias que fornecem conectividade e inteligência para tecnologias *front-end* são a última camada, a qual habilita o conceito Indústria 4.0, diferenciando-a dos estágios industriais anteriores. Isso ocorre porque as tecnologias de base permitem que as tecnologias de *front-end* sejam conectadas em um sistema de fabricação integrado completo.

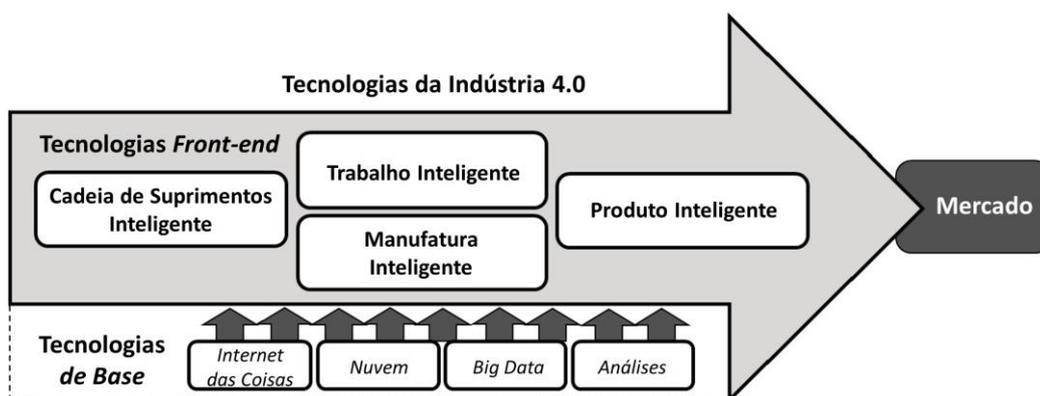


FIGURA 3– TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 POR FRANK ET AL. (2019)

FONTE: FRANK ET AL. (2019).

Dalmarco *et al.* (2019) consideram nove tecnologias como as principais para implantação da Indústria 4.0 (Simulação, *Big Data & Analytics* (BDA), Computação em nuvem, Sistemas físico cibernéticos, Robôs colaborativos, Realidade aumentada, manufatura aditiva e integração de sistemas) podendo ser vistas na Figura 4. Segundo o autor, a disseminação e adoção dessas tecnologias ao longo das cadeias de valor industriais podem introduzir ganhos significativos e melhorar a competitividade das empresas. Aumento da eficiência, valor agregado de produtos e serviços, flexibilidade, customização de produtos e envolvimento e lealdade dos clientes são os principais ganhos esperados.



FIGURA 4– TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 POR DALMARCO (2019)

FONTE: DALMARCO (2019)

Hermann *et al.* (2016) realizaram uma revisão da literatura identificando quatro componentes principais da Indústria 4.0: CPS, Internet das Coisas, Internet dos Serviços e Fábrica Inteligente. Outras ferramentas/ tecnologias como comunicação máquina a máquina (M2M) e produtos inteligentes não são considerados componentes independentes da Indústria 4.0 pelos autores, pois o M2M é um facilitador da Internet das Coisas e os produtos inteligentes são um subcomponente dos sistemas físico-cibernéticos. Da mesma forma, e de acordo com Kagermann (2014), os autores veem o *Big Data* e a computação em nuvem como serviços de dados que utilizam os dados gerados nas implementações da Indústria 4.0, mas não como componentes independentes.

Existem diversos modelos para ilustrar as tecnologias utilizadas inerentes à Indústria 4.0. Foi considerado como base a ser discutido nesse tópico o modelo de Küpper (2019), por se tratar de um modelo que contempla com maiores detalhes tais tecnologias. O autor sub categoriza as tecnologias em nove classes, mostradas na Figura 5, simulação, internet das coisas, manufatura aditiva, robôs autônomos, nuvem, *big data* e *analytics (BDA)*, realidade aumentada, segurança cibernética e integração vertical e horizontal do sistema.

O autor afirma ainda que existem muitos exemplos dessas tecnologias individuais, porém o benefício real é obtido quando elas são conectadas (KÜPPER, 2019).

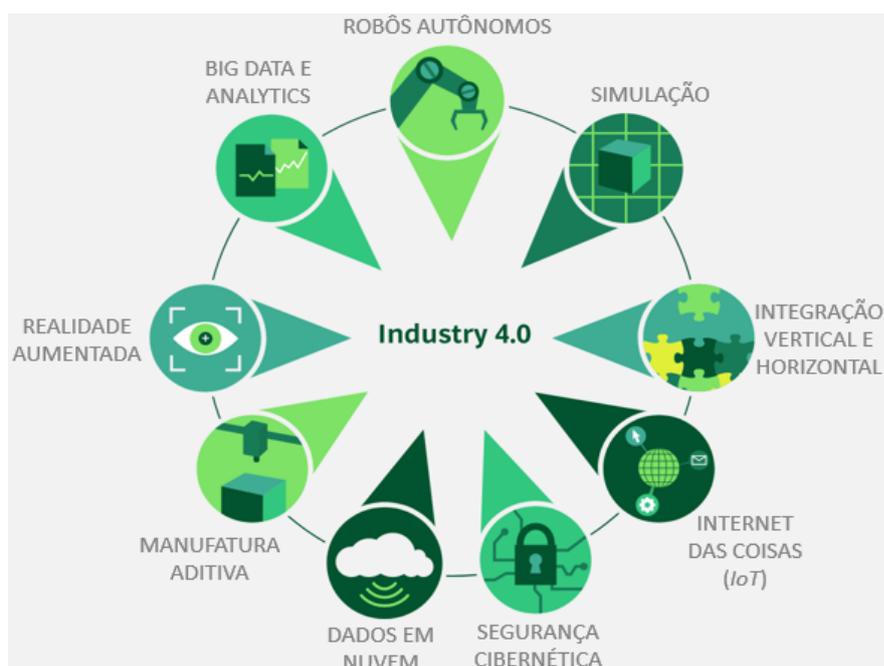


FIGURA 5– TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 POR KÜPPER (2019)

FONTE: KÜPPER (2019).

2.1.1.1. **BIG DATA E ANALYTICS (BDA)**

Big Data e Analytics tem por definição um conjunto de tecnologias e ferramentas capazes de processar e analisar grandes volumes de dados que são: gerados continuamente; composto de textos, imagens, etc.; e de vários departamentos. A análise desses dados pode ajudar a identificar detalhadamente as falhas existentes, aumentando o conhecimento disponível sobre os hábitos e preferências dos consumidores, entre outros (GÖLZER e FRITZSCHE, 2017; MEGAHED e JONES-FARMER, 2013; POSADA *et al.*, 2015).

Muitas empresas estão adotando essas tecnologias em seu sistema de produção para a implementação da Indústria 4.0. Como exemplo, Google, Amazon e Netflix usaram o BDA para monitorar a escolha do cliente para o processo de tomada de decisão (MOKTADIR *et al.*, 2018).

No contexto da Indústria 4.0, a coleta e a avaliação abrangente de dados de muitas fontes diferentes - equipamentos e sistemas de produção, bem como

sistemas de gerenciamento de empresas e clientes - tornarão padrão para apoiar a tomada de decisões em tempo real.

Autores descrevem que o uso dessa tecnologia pode resolver problemas relacionados à eficiência e qualidade do processo. Pela análise das informações disponíveis, as empresas podem passar de uma tomada de decisão reativa para uma informada, assertiva e proativa (DALMARCO *et al.*, 2019).

Conforme Gölzer e Fritzsche (2017), a implementação do BDA, no entanto, é complexa devido à quantidade de dados disponíveis para gerenciar e analisar de forma eficiente e eficaz. As máquinas estão fornecendo cada vez mais informações aos tomadores de decisão, com as possibilidades das análises BDA sendo uma nova ferramenta de otimização. Para criar uma fábrica inteligente, as empresas devem planejar seu processo de fabricação com base em análises, permitindo assim uma tomada de decisão mais informada e em tempo real sobre os processos de negócios de toda a cadeia de valor.

2.1.1.2. ROBÔS AUTÔNOMOS

Os robôs existem desde os anos 1960 como parte da terceira revolução industrial. A robótica tradicional geralmente requer monitoramento e inspeção, pois não há *loops de feedback* para confirmar que a operação automatizada foi executada satisfatoriamente. O próximo estágio do desenvolvimento robótico é incorporar sensores no sistema para permitir *feedback*, para que, se ocorrer um problema, o robô possa se corrigir. Usando a coleta de dados, um benefício adicional dos robôs "inteligentes" é a capacidade de prever quando a manutenção é necessária. *Softwares* podem utilizar dados coletados de sensores embutidos no equipamento, juntamente com dados operacionais para reduzir o tempo de inatividade não planejado do equipamento (SNUDDEN, 2019).

Robôs autônomos são robôs (móveis e/ ou fixos) que operam em processos físicos automatizados e interagem com operadores humanos ou com outros

robôs em um comportamento intuitivo de autoaprendizagem (AWAIS e HENRICH, 2013; BONKENBURT, 2016). Os robôs eventualmente interagem entre si e trabalham com segurança lado a lado com os humanos e aprendem com eles. Esses robôs custam menos e têm uma gama maior de recursos dos que os usados comumente na fabricação (KÜPPER, 2019).

Para Grote *et al.* (2014) a robótica autônoma, ou colaborativa, aborda uma questão específica das linhas de produção - para deixar tarefas pesadas ou repetitivas para sistemas automatizados, enquanto os funcionários podem executar tarefas complexas que exigem uma tomada de decisão reflexiva. Por esse motivo, em situações em que há a escassez de mão-de-obra, falta de capacidade produtiva ou baixa eficiência e desempenho em processos repetitivos, a robótica colaborativa é considerada complemento às atividades dos funcionários.

2.1.1.3. SIMULAÇÃO

A simulação permite a virtualização do *design* do produto, processos e *layout* da fábrica. As ferramentas de simulação permitem testar modelos virtuais de produtos ou processos antes de aplicá-los em soluções reais, otimizando o desenvolvimento de novas tecnologias (POSADA *et al.*, 2015; SHELLSHEAR *et al.*, 2015).

A simulação faz parte da engenharia há muitos anos, por exemplo, com Análise de Elementos Finitos (FEA) para projetos estruturais e Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD) para aerodinâmica. Até os pacotes CAD agora incluem solucionadores simples de FEA e CFD para permitir que os engenheiros de projeto realizem análises e verificações. Agora, essa tecnologia também é usada para simulação de processos de fabricação, levando à geminação digital. Sendo assim, a capacidade de simular processos de fabricação antes de realizar testes de fabricação melhora consideravelmente o tempo de desenvolvimento e reduz custos (SNUDDEN, 2019).

Por meio do uso das soluções de simulação, é possível criar um “gêmeo digital” do processo de fabricação. Um gêmeo digital, chamado também por “sombra digital” (SCHUH *et al.*, 2017), é uma parte essencial de como a Indústria 4.0 pode oferecer os benefícios que promete e é essencialmente uma réplica digital da peça, processo, linha de produção ou qualquer outra entidade física, que é então vinculada ao objeto real para criar um sistema físico cibernético.

Tecnologias relacionadas à simulação são usadas para criar um ambiente de teste virtual. As ferramentas de simulação melhoram a análise de viabilidade de novas soluções ou a otimização da linha de produção, que pode se concentrar na falta de capacidade ou na baixa eficiência produtiva (DALMARCO *et al.*, 2019). Como mencionado por Posada *et al.* (2015), o uso de ferramentas virtuais pode melhorar a integração do funcionário com a linha de produção, como em seu uso no treinamento de máquinas complexas ou na adaptação de mecanismos para superar as restrições de trabalho. O principal ganho é criar e organizar uma linha de manufatura virtual para definir, analisar e testar novos *layouts* de diferentes planos de produção.

2.1.1.4. INTEGRAÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL

Quando se fala em integração horizontal e vertical, discute-se a integração de dados em todos os níveis de uma empresa (do gerenciamento ao chão de fábrica) e entre as empresas da cadeia de suprimentos (dos fornecedores aos clientes), de acordo com seus padrões de transferência de dados, geralmente conectados pelos aplicativos da Internet das Coisas (AGRIFOGLIO *et al.*, 2017; LAU *et al.*, 2010; THOBEN *et al.*, 2017).

Para interconectar todas as tecnologias da Indústria 4.0, o uso de ferramentas relacionadas à integração de sistemas permite a padronização de protocolos de troca de informações, melhorando a comunicação e o gerenciamento de conhecimento em toda a cadeia de valor. Dalmarco *et al.* (2019) mencionam em sua pesquisa que a comunicação e transmissão de informações entre os

vários pontos da fábrica é geralmente ruim ou inexistente, abrindo ampla gama de possibilidades para o uso de procedimentos de integração, como aplicativos de *IoT*.

Snudden (2019) em seu estudo examina as empresas de consumo que usaram amplamente e se beneficiam da tecnologia altamente conectiva. É possível verificar temas em comum entre essas empresas que podem fornecer pistas sobre como as indústrias podem explorar ainda mais o potencial da Indústria 4.0. Exemplos de empresas disruptivas utilizados pelo autor inclui a maior empresa de táxi do mundo que não possui nenhum táxi, empresas de comunicação que não possuem nenhuma infraestrutura e o maior provedor de acomodações do mundo que não possui nenhuma propriedade; a lista desses exemplos tem ficando cada vez mais extensa.

O tema comum entre as empresas é que são essencialmente intermediárias, ligando fornecedores a clientes. O serviço adicional que essas organizações fornecem é de total transparência. Quando uma carona é solicitada no aplicativo da *Uber*, o motorista e o cliente podem ver quem é o outro e o carro pode ser rastreado. Os dados das viagens realizadas também são salvos em um banco de dados. O mesmo ocorre com o *Airbnb*. O proprietário da acomodação (fornecedor) e a pessoa que aluga a propriedade (cliente) podem ver as classificações uns dos outros com base em transações e experiências anteriores. Novamente, dados sobre as tendências de viagem dos clientes podem ser coletados. Existem também exemplos de negócios disruptivos para empresas iniciantes (SNUDDEN, 2019).

Para incorporar um sistema como o descrito no parágrafo anterior, é necessária a integração do sistema. As soluções de *software* que estão disponíveis há muitos anos, como o MRP (*Manufacturing Resource Planning*) e o ERP (*Enterprise Resource Planning*) começam a ser combinadas com outros sistemas. Esses sistemas podem ser integrados aos equipamentos e processos da Indústria 4.0 para poder coletar e utilizar os dados gerados (SNUDDEN, 2019).

2.1.1.5. INTERNET DAS COISAS (IoT)

A Indústria 4.0 significa que mais dispositivos - às vezes incluindo produtos inacabados - serão enriquecidos com a computação incorporada. Isso permitirá que os dispositivos de campo se comuniquem e interajam entre si e com controladores mais centralizados, conforme necessário. Também descentralizará a análise e a tomada de decisões, permitindo respostas em tempo real (KÜPPER, 2019).

A Internet das Coisas (IoT) é uma parte vital da quarta revolução industrial, pois representa a conectividade entre equipamentos e bancos de dados em uma organização, seja na loja ou no escritório de engenharia. Para poder coletar e enviar dados de volta, o equipamento deve estar conectado a uma rede. Devido ao número de parâmetros diferentes que podem ser variados em um processo de fabricação composto, essa coleta e *feedback* de dados são vitais (SNUDDEN, 2019).

A IoT ajuda a integrar os dados para fins operacionais do mundo virtual, o que pode auxiliar as atividades de manufatura na melhoria contínua (Chen *et al.*, 2014; Gubbi *et al.*, 2013; Minerva *et al.*, 2015). O software baseado em IoT é usado para planejamento e controle inteligentes de máquinas.

2.1.1.6. SEGURANÇA CIBERNÉTICA

Segurança cibernética é definida por serviços e tecnologias implantados com o objetivo de proteger usuários, sistemas, equipamentos, redes e dados industriais de intrusão ilícita (VON SOLMS e VAN NIEKERK, 2013; WANG *et al.*, 2016).

Com o aumento da conectividade e o uso de protocolos de comunicação padrão que acompanham o setor 4.0, a necessidade de proteger sistemas industriais e linhas de fabricação críticas contra ameaças de segurança cibernética aumenta dramaticamente. Como resultado, comunicações

seguras e confiáveis, bem como gerenciamento sofisticado de identidade e acesso de máquinas e usuários são essenciais (KÜPPER, 2019).

Descrevendo os procedimentos de segurança necessários para um amplo uso da rede, a segurança cibernética tem um papel transversal nas tecnologias da Indústria 4.0. É essencial para proteger as empresas contra *hackers* cibernéticos de redes, máquinas e equipamentos - todos os sistemas *on-line* de aplicativos da Indústria 4.0. A segurança cibernética prevê melhorias de confiabilidade e segurança na rastreabilidade dos produtos, impedindo a espionagem industrial. Embora a implementação de sistemas ciber-físicos aumente o fluxo de dados através da rede (local ou na *Internet*), a segurança cibernética é uma tendência atual das fábricas interconectadas, normalmente exigindo investimentos em procedimentos de segurança para evitar *hackers*. (WASLO e TYLER, 2017).

2.1.1.7. DADOS EM NUVEM

Dados em nuvem são serviços que fornecem acesso a máquinas, sistemas, *software* e ferramentas através de redes como a *Internet*. Substitui a necessidade de adquirir produtos, *know-how* e/ ou infraestruturas dispendiosas (BUGHIN *et al.*, 2010; MARSTON *et al.*, 2011).

Mais empreendimentos relacionados à produção exigirão maior compartilhamento de dados entre *sites* e limites da empresa. Ao mesmo tempo, o desempenho das tecnologias em nuvem melhorará, alcançando tempos de reação de apenas alguns milissegundos. Como resultado, os dados e a funcionalidade da máquina serão cada vez mais implantados na nuvem, permitindo mais serviços orientados a dados para os sistemas de produção (KÜPPER, 2019).

A computação em nuvem aborda o uso de recursos virtuais em vez de físicos. As restrições orçamentárias para investir em infraestrutura para computação, gerenciamento de *software* e dados de amplo espectro podem abrir possibilidades para serviços em nuvem, o que também permite acessibilidade

a dados, sistemas e equipamentos de qualquer dispositivo e localização geográfica. Oferece às empresas uma capacidade aumentada de extrair, armazenar e processar informações, adicionando uma acessibilidade otimizada aos dados, sistemas e equipamentos conectados à Internet (DALMARCO *et al.*, 2019).

Por outro lado, Marston *et al.* (2011) destacam que a principal restrição de adoção é definir qual parte de uma capacidade computacional física local será movida para sistemas em nuvem, uma vez que preocupações com segurança de dados, políticas internas de TI ou mesmo a possibilidade de falência de uma empresa em nuvem podem afetar os dados armazenados na nuvem, restringindo seu uso com informações estratégicas.

2.1.1.8. MANUFATURA ADITIVA

A definição de manufatura aditiva é relatada como tecnologia que permite imprimir objetos compondo camadas de plástico ou metal, evitando o desperdício de material em processos como corte. Usada inicialmente para produzir protótipos ou pequenas séries de peças complexas, vem sendo utilizada para produção em larga escala (LAUREIJS *et al.*, 2017; OETTMEIER & HOFMANN, 2017).

As empresas começaram a adotar a fabricação aditiva, como a impressão 3D, principalmente para criar protótipos e produzir componentes individuais. Com a Indústria 4.0, esses métodos de fabricação de aditivos são amplamente utilizados para produzir pequenos lotes de produtos personalizados que oferecem vantagens de construção, como projetos leves e complexos (KÜPPER, 2019).

Dalmarco *et al.* (2019) descrevem a manufatura aditiva como uma solução para a produção de peças com maior complexidade e personalização, além da otimização de geometrias para redução de peso ou controle de densidade. Reduz os altos níveis de desperdícios gerados pela produção de peças por meio de processos de fabricação tradicionais. No entanto, a manufatura

aditiva ainda enfrenta restrições relacionadas aos tipos de materiais usados para imprimir novas peças 3D e consequentes preços altos de novos materiais. Além disso, ainda há muita variabilidade nas peças impressas – duas peças impressas na mesma máquina serão ligeiramente diferentes e as propriedades mecânicas das peças impressas em 3D são diferentes daquelas fabricadas convencionalmente (SCOTT e HARRISON, 2015).

2.1.1.9. REALIDADE AUMENTADA

Realidade aumentada é a integração de informações virtuais ao mundo real por meio da combinação de elementos 3D com o contexto espacial da fábrica. Permite interatividade e processamento em tempo real da projeção de imagens, sendo usado tanto para melhorar o processo de fabricação quanto para testar novos produtos (PAELKE, 2014; POSADA *et al.*, 2015).

De acordo com Küpper (2019), os sistemas baseados em realidade aumentada suportam uma variedade de serviços, como selecionar peças em um armazém e enviar instruções de reparo por dispositivos móveis. Esses sistemas estão no início de sua utilização, mas, em um futuro próximo, as empresas farão uso muito mais amplo da realidade aumentada para fornecer aos trabalhadores informações em tempo real para melhorar a tomada de decisão e os procedimentos de trabalho.

Com o objetivo de melhorar a qualidade e a eficiência da fabricação, a realidade aumentada oferece a possibilidade de consulta em tempo real, sempre que informações são necessárias para a execução de uma determinada tarefa. Pode melhorar o treinamento e as condições de trabalho, permitindo que os funcionários aprendam seus procedimentos no local, reduzindo o tempo com a curva de aprendizado e diminuindo os erros na execução das tarefas (DALMARCO *et al.*, 2019).

Existem, no entanto, alguns desafios para a implementação, pois os funcionários podem apresentar restrições ao treinamento no local. Definir quais informações são relevantes para disseminar em tempo real também é

uma restrição às possibilidades da realidade aumentada, pois as empresas podem sobrecarregar a quantidade de informações necessárias durante uma tarefa específica (RÜBMANN *et al.*, 2015).

As empresas enfrentam grandes desafios na adoção dessas tecnologias da Indústria 4.0. Para criar e manter a liderança na corrida para a implementação completa, as organizações precisam ampliar e aprofundar seu conhecimento prático sobre tecnologias digitais e os estudos de caso relacionados – e então desenvolver e implementar estratégias personalizadas de manufatura digital (KÜPPER, 2019).

2.2. ÍNDICE DE MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0 (ACATECH)

Para reconhecer o nível de evolução das empresas na Indústria 4.0 utilizam-se de modelos de avaliação de maturidade. Os modelos de maturidade são comumente utilizados como instrumento para conceituar e medir a maturidade de uma organização. O principal objetivo é capturar o estado atual de um processo ou sistema enquanto ele amadurece, isto é, atinge o objetivo pretendido (SCHUMACHER *et al.*, 2016).

Um dos modelos de maturidade mais utilizados e reconhecidos na literatura é o modelo da ACATECH, elaborado por Schuh *et al.* (2017) e ilustrado pela Figura 6. Para os autores, o objetivo do modelo de maturidade é fornecer um meio de estabelecer a atual etapa de maturidade em Indústria 4.0 das empresas e identificar medidas concretas para ajudá-los a atingir um estágio de maturidade maior.

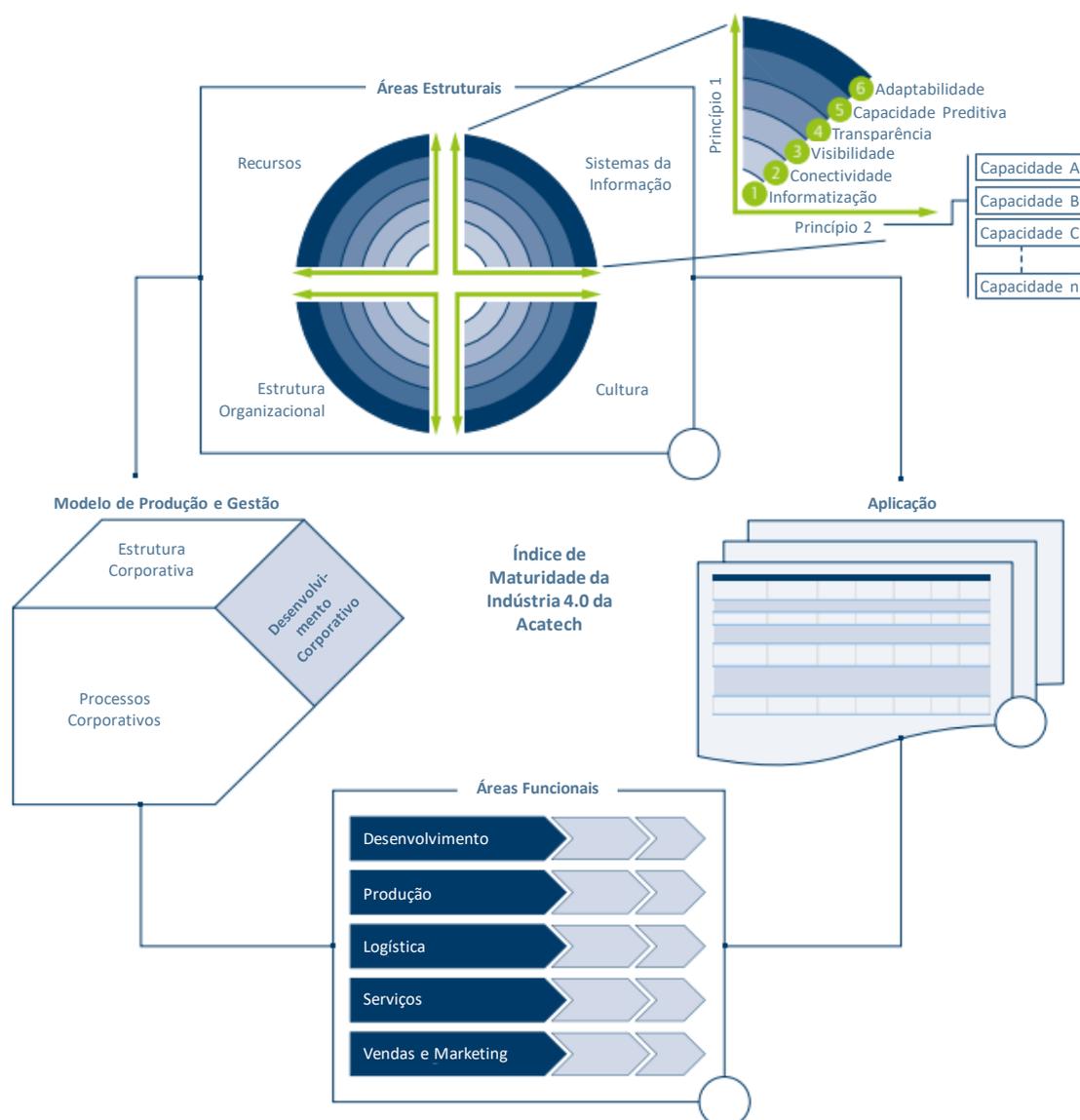


FIGURA 6 – ÍNDICE DE MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0 – ACATECH

FONTE: SCHUH ET AL. (2017)

De acordo com Schuh *et al.* (2017), divide-se os aspectos internos de uma empresa em estrutura corporativa, processos corporativos e desenvolvimento corporativo. Estrutura corporativa refere-se aos aspectos de uma empresa indispensáveis para a produção de seus bens e serviços. Os processos corporativos, por outro lado, referem-se às cadeias de processos em todas as áreas da empresa, enquanto o desenvolvimento corporativo refere-se ao desenvolvimento estratégico e operacional da empresa.

O Índice de Maturidade da Indústria 4.0 da ACATECH divide a estrutura de uma empresa em quatro áreas: recursos, sistemas de informação, cultura e estrutura organizacional. Dois princípios orientadores, juntamente com as capacidades necessárias, são identificados para cada área estrutural. Os recursos são voltados para a realização dos estágios de desenvolvimento e fornecem às empresas a base para se transformarem em organizações ágeis. Os processos corporativos formam a base das cinco áreas funcionais investigadas pelo Índice (desenvolvimento, produção, logística, serviços e marketing e vendas). As áreas estruturais, as áreas funcionais e os estágios de maturidade são combinados para determinar a maturidade geral de uma empresa e a maturidade de áreas funcionais individuais (SCHUH *et al.*, 2017).

Como resultado da avaliação, por meio do modelo da ACATECH, obtém-se o estágio da Indústria 4.0 que a empresa se encontra. Estes estágios são descritos na “Trajetória de Desenvolvimento da Indústria 4.0” (Figura 7), denominada por Schuh *et al.* (2017). A trajetória compreende seis estágios de desenvolvimento. Cada estágio baseia-se no anterior e descreve os recursos necessários para alcançá-los e os benefícios resultantes para a empresa.



FIGURA 7 – ESTÁGIOS DA TRAJETÓRIA DE DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA 4.0

FONTE: SCHUH ET AL. (2017).

Para Schuh *et al.* (2017), a trajetória de desenvolvimento inicia-se com a “Digitalização”. Embora a digitalização não faça parte da Indústria 4.0, a

informatização e a conectividade (estágios um e dois, respectivamente) são requisitos básicos para a sua implementação.

A definição de cada estágio é descrita nas Seções a seguir, de acordo com o relatório da ACATECH (SCHUH *et al.*, 2017).

2.2.1. ESTÁGIO 1 – INFORMATIZAÇÃO

A informatização, sendo base para a digitalização, é usada principalmente para realizar tarefas específicas de forma mais eficiente. Um exemplo seria uma fresadora CNC. Embora possa usinar peças com grande precisão, os dados CAD que detalham as ações a serem executadas ainda devem ser transferidos para a fresadora manualmente, isto é, a máquina não está conectada. Outro exemplo envolve sistemas de aplicativos de negócios que não estão conectados ao sistema ERP da empresa. Isso pode levar, por exemplo, a uma situação onde a garantia da qualidade semi-automatizada seja realizada em uma estação de teste, mas os dados gravados não estão associados à ordem de trabalho correspondente. Tornaria difícil determinar futuramente qual problema de qualidade ocorreu em determinado período.

2.2.2. ESTÁGIO 2 – CONECTIVIDADE

Falando em conectividade, a implantação isolada da tecnologia da informação é substituída por componentes conectados. Aplicações de negócios amplamente utilizadas estão todas conectadas entre si e refletem os principais processos ne negócios da empresa. A conectividade significa que, por exemplo, uma vez que um projeto tenha sido criado na engenharia, seus dados podem ser empurrados para a produção, de modo que as etapas de produção possam ser executadas em conformidade (processos CAD/CAM). Uma vez que a etapa de fabricação tenha sido concluída, a confirmação pode ser fornecida automaticamente e em tempo real através de um Sistema de Execução da Manufatura (MES). Também permite que os fabricantes de

máquinas-ferramentas realizem manutenção remota em produtos que são usados por seus clientes.

2.2.3. ESTÁGIO 3 – VISIBILIDADE

Nesse nível, os sensores permitem que os processos sejam capturados do início ao fim com um grande número de pontos de dados. Com a queda do preço de sensores, microchips e tecnologias de rede significa que eventos e situações podem ser registrados em tempo real em toda a empresa, além de apenas áreas individuais, como células de fabricação. Isso permite manter um modelo digital atualizado de fábricas a todo momento. Refere-se a este modelo como “sombra digital” da empresa. A sombra digital pode ajudar a mostrar o que está acontecendo na empresa a qualquer momento, para que as tomadas de decisões possam basear-se em dados reais. É, portanto, um elemento fundamental para os níveis posteriores. Como exemplo, permite determinar mais rapidamente a variação da data de entrega causada por um problema específico por meio de KPIs e *dashboards* em tempo real, assim o planejamento da produção pode ser ajustado pelo gerente de produção e os clientes e fornecedores possam ser mantidos informados.

2.2.4. ESTÁGIO 4 – TRANSPARÊNCIA

Esse estágio é para a empresa entender o porquê algo está acontecendo e usar esse entendimento para produzir conhecimento por meio de análises de causa raiz. Novas tecnologias que suportam a análise de grandes volumes de dados podem ser extremamente úteis para essa finalidade. “*Big Data*” é uma palavra-chave frequentemente mencionada nesse contexto. Ele é usado para descrever dados em massa que não podem mais ser processados e analisados usando processos convencionais. Pode ser usado, por exemplo, para realizar o monitoramento de condições de máquinas e equipamentos. Os parâmetros registrados são pesquisados em busca de eventos e dependências mútuos que são então agregados para produzir eventos

complexos que refletem a condição da máquina ou equipamento. A transparência é um requisito para a manutenção preditiva.

2.2.5. ESTÁGIO 5 – CAPACIDADE PREDITIVA

Com base no estágio de transparência, o próximo estágio de desenvolvimento é a capacidade preditiva. Uma vez atingido esse estágio, a empresa é capaz de simular diferentes cenários futuros e identificar os mais prováveis. Isso envolve projetar a sombra digital no futuro, a fim de descrever uma variedade de cenários que podem ser avaliados em termos da probabilidade de ocorrência. Por exemplo, reduzir o número de eventos inesperados causados por interrupções ou variações de planejamento, permite uma operação mais robusta do negócio. Isso possibilita, por exemplo, sinalizar problemas recorrentes de logística, como a falha da operadora antes que eles ocorram, para que possam ser evitados, neste caso, mudando de operadora.

2.2.6. ESTÁGIO 6 – ADAPTABILIDADE

A adaptação contínua permite que uma empresa delegue certas decisões aos sistemas de TI para que possa se adaptar a um ambiente de negócios em constante mudança o mais rápido possível. É importante avaliar cuidadosamente os riscos de automatizar aprovações e confirmações para clientes e fornecedores. Por exemplo: alterar a sequência de pedidos planejados devido a falhas esperadas da máquina ou evitar atrasos na entrega. O objetivo da adaptabilidade é alcançado quando uma empresa for capaz de usar os dados da sombra digital para tomar decisões que tenham os melhores resultados possíveis no menor tempo possível e implementar as medidas correspondentes automaticamente, ou seja, sem assistência humana.

2.3. MODELOS DE IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 QUE CONSIDERAM AS DIFICULDADES

Esta seção apresenta os modelos que consideram as dificuldades relacionadas ao processo de implantação da Indústria 4.0, identificados na literatura. Para tanto foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura cujos detalhes estão apresentados na Seção 4.1.1 deste trabalho. Foram identificados vinte modelos que levam em consideração as dificuldades, mostrados no Quadro 1.

QUADRO 1 – MODELOS DE IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 QUE CONSIDERAM AS DIFICULDADES

TÍTULO DO TRABALHO	DESCRIÇÃO	DIFICULDADES CONSIDERADAS	REFERÊNCIA
Industry 4.0 - Potentials for Creating Smart Products: Empirical Research Results	Por meio da identificação de fatores com alto impacto na I4.0, o artigo tem como objetivo fornecer informações empíricas sobre os potenciais da I4.0. Dessa maneira, visa ajudar acadêmicos e profissionais a identificar e priorizar a implementação da I4.0.	<ul style="list-style-type: none"> - Baixo entendimento sobre a Indústria 4.0; - Deficiência na visão e estratégia das operações digitais; - Deficiência em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). 	Schmidt et al. (2015)
Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and Challenges	O artigo apresenta um modelo para implantação da I4.0 levando em consideração aspectos relevantes do setor 4.0 em relação ao planejamento estratégico, principais tecnologias, oportunidades e desafios.	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de Integração de plataformas de tecnologia; - Redução de oportunidades de emprego. 	Zhou et al. (2015)
Strategic guidance towards Industry 4.0 – a three-stage process model	Descrição de um modelo de processo de três estágios (prever, habilitar e decretar) para orientar as empresas de manufatura a se transformarem em uma empresa pronta para a I4.0.	<ul style="list-style-type: none"> - Deficiência na visão e estratégia das operações digitais; - Falta de mão de obra qualificada. 	Erol et al. (2016)
A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond	Estrutura de implementação da Indústria 4.0 que identifica como diferentes tecnologias de nível de inteligência são atuadas em três sistemas de automação de produção.	<ul style="list-style-type: none"> - Baixo entendimento sobre a Indústria 4.0. 	Qin et al. (2016)
A Conceptual Framework for “Industry 3.5” to Empower Intelligent Manufacturing and Case Studies	Proposta de um modelo de “Indústria 3.5” como uma estratégia híbrida entre a Indústria 3.0 e a futura I4.0. Propõe uma estrutura conceitual da Indústria 3.5 com cinco recursos, incluindo decisão digital, cadeia de suprimentos inteligente, fabricação inteligente, gerenciamento total de recursos e fábrica inteligente.	<ul style="list-style-type: none"> - Deficiência na visão e estratégia das operações digitais; - Falta de infraestrutura e redes baseadas na internet. 	Chien et al. (2017)

QUADRO 1 – MODELOS DE IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 QUE CONSIDERAM AS DIFICULDADES (CONT.)

TÍTULO DO TRABALHO	DESCRIÇÃO	DIFICULDADES CONSIDERADAS	REFERÊNCIA
Diffusion of industry 4.0 in manufacturing sector-An innovative framework	Consiste em examinar vários facilitadores que possivelmente desempenham um papel vital na difusão da Indústria 4.0, baseando-se nas premissas das teorias da Difusão da Inovação e Difusão Organizacional da Inovação.	- Deficiência na visão e estratégia das operações digitais;	Sachdeva et al. (2017)
Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues	Descreve a questão crítica da interoperabilidade da I4.0 e propõe um quadro conceitual de interoperabilidade em relação à I4.0.	- Problemas de segurança dos dados.	Lu (2017)
The Fourth Industrial Revolution and implications for innovative cluster policies	O artigo discute como as tecnologias funcionam nas indústrias, e aborda como os <i>clusters</i> inovadores precisam evoluir para responder à I4.0.	- Falta de mão de obra qualificada; - Falta de cultura digital; - Problemas de segurança dos dados.	Park (2017)
Business model innovation through Industry 4.0: A review	Proposta de nova tipologia do Modelo de Negócios baseada na <i>smartização</i> de produtos e serviços. É identificado um conjunto de recursos, questões e requisitos e sugerem três abordagens diferentes para aproximar as empresas da indústria 4.0.	- Baixo entendimento sobre a Indústria 4.0; - Falta de competência na aplicação de novos modelos de negócio;	Ibarra et al. (2018)
Industry 4.0 retrofitting	Proposta de uma maneira de realizar o processo de adaptação (<i>retrofitting</i>) dos equipamentos e processos voltados à Indústria 4.0.	- Restrições financeiras.	Lins et al. (2018)
Change made in shop floor management to transform a conventional production system into an "Industry 4.0": Case studies in SME automotive production manufacturing	Apresentação de um modelo de negócios visando orientar e treinar empresas para ajudá-las a identificar novas oportunidades no Setor 4.0.	- Falta de competência na aplicação de novos modelos de negócio; - Falta de cultura digital; - Falta de mão de obra qualificada; - Deficiência em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)	Moica et al. (2018)
Assessing challenges for implementing Industry 4.0: Implications for process safety and environmental protection	Criação de um modelo de implantação da Indústria 4.0 tendo como referência dez desafios enfrentados pelas indústrias de couro de Bangladesh.	- Problema de segurança dos dados; - Restrições financeiras; - Falta de infraestrutura e redes baseadas na internet; - Redução de oportunidades de emprego; - Deficiência na visão e estratégia das operações digitais; - Falta de mão de obra qualificada;	Moktadir et al. (2018)

QUADRO 1 – MODELOS DE IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 QUE CONSIDERAM AS DIFICULDADES (CONT.)

TÍTULO DO TRABALHO	DESCRIÇÃO	DIFICULDADES CONSIDERADAS	REFERÊNCIA
Industry 4.0 in Practice- Identification of Industry 4.0 Success Patterns	Baseia-se nas conclusões do desenvolvimento de uma avaliação de maturidade da Indústria 4.0 e nos resultados preliminares de um estudo prático da Indústria 4.0.	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de mão de obra qualificada; - Falta de integração de plataformas de tecnologia. 	Puchan et al. (2018)
Industry 4.0 implementation for multinationals	O trabalho proposto resolve os desafios locais, juntamente com a padronização global e a integração interfuncional. Esse modelo proposto é reforçado por uma simulação que ilustra os benefícios dos negócios integrados.	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de mão de obra qualificada; - Deficiência na visão e estratégia das operações digitais; - Falta de integração de plataformas de tecnologia. 	Telukdarie et al. (2018)
Approaches for the planning and implementation of Industry 4.0	O artigo desenha algumas das oportunidades e objetivos da I4.0 para que não apenas sejam conhecidas suas pré-condições técnicas, mas também sejam confrontadas com os aspectos sociais e morais que essa tecnologia implica.	<ul style="list-style-type: none"> - Redução de oportunidade de emprego; - Falta de mão de obra qualificada. 	Cristian et al. (2019)
Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies	O objetivo do artigo é entender como as principais tecnologias da I4.0 são usadas nas empresas tomando como premissa a Fabricação Inteligente como papel central na I4.0.	<ul style="list-style-type: none"> - Baixo entendimento sobre a Indústria 4.0; - Falta de mão de obra qualificada. 	Frank et al. (2019)
Industry 4.0 technology implementation impact to industrial sustainable energy in Indonesia: A model conceptualization	Estudo do impacto sistêmico do desenvolvimento e implementação de tecnologia da Indústria 4.0 para a transição energética sustentável nos países em desenvolvimento.	<ul style="list-style-type: none"> - Baixo entendimento sobre a Indústria 4.0. 	Hidayatno et al. (2019)
Ten Lessons for Managers while Implementing Industry 4.0	Mapeamento de dez lições para os gerentes terem em mente enquanto implementam a Indústria 4.0, sendo subdivididas em três principais grupos.	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de cultura digital; - Falta de mão de obra qualificada; - Baixo entendimento sobre a Indústria 4.0. 	Sony e Naik (2019)
Evaluating the Factors that are Affecting the Implementation of Industry 4.0 Technologies in Manufacturing MSMEs, the Case of Peru	Identificação das principais tecnologias inerentes à Indústria 4.0 e estruturação de modelos conceituais voltados à Indústria 4.0 levando em consideração essas tecnologias.	<ul style="list-style-type: none"> - Restrições financeiras; - Falta de mão de obra qualificada; - Deficiência na visão e estratégia das operações digitais. 	Huang et al. (2019)
Industry 4.0: Redefining Manufacturing in Kazakhstan	Compara o nível de implementação das tecnologias I4.0 na Europa e Cazaquistão. É proposto um modelo de implementação das tecnologias da I4.0 comparando com o modelo europeu.	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de integração de plataformas de tecnologia; - Baixo entendimento sobre a Indústria 4.0. 	Shaiholla et al. (2019)

A seguir, são apresentados os detalhes mais importantes de cada modelo.

Schmidt *et al.* (2015), Zhou *et al.* (2015), Lu (2017), Park (2017), Huang *et al.* (2019) e Shaiholla *et al.* (2019) além de mapearem as principais tecnologias inerentes à Indústria 4.0, propõem em seus estudos estruturas conceituais voltadas à implantação da Indústria 4.0, levando em consideração a análise dessas tecnologias e ferramentas disponíveis bem como a melhor utilização delas. Nesses estudos, conforme mostrado no Quadro 2, várias dificuldades são apontadas.

Erol *et al.* (2016) descrevem um modelo de processo de três estágios para orientar as empresas de manufatura a se transformarem em uma empresa preparada para a Indústria 4.0. O modelo de processo é baseado nos conceitos de inovação e roteiro estratégico e oferece uma estrutura orientadora para a transformação sistemática da visão e estratégia de uma empresa em relação à prontidão da Indústria 4.0. Os autores evidenciam a deficiência na visão e estratégia das operações digitais e a falta de mão de obra qualificada como dificuldades que as empresas enfrentam.

Afirmando que o roteiro tecnológico para a implantação da Indústria 4.0 ainda não está claro na indústria e nem na academia, Qin *et al.* (2016) tem como principal contribuição em seu estudo uma estrutura de implementação da Indústria 4.0, que consiste em uma estrutura multicamada, que identifica como diferentes tecnologias de nível de inteligência são atuadas em três sistemas de automação de produção. Os pesquisadores afirmam que essa estrutura pode ajudar as pessoas a entender e atingir os requisitos da Indústria 4.0. Os autores dizem que o baixo entendimento sobre a Indústria 4.0 é uma dificuldade presente nas empresas.

Relatando que a maioria dos países emergentes pode não estar pronta para a migração da Indústria 4.0, Chien *et al.* (2017) realizam um estudo cujo objetivo é propor um modelo de "Indústria 3.5" como uma estratégia híbrida entre a Indústria 3.0 e a futura Indústria 4.0, abordando algumas das necessidades de decisões flexíveis e produção inteligente na Indústria 4.0. O

estudo concentra-se na integração do conhecimento do domínio e das regras de decisão derivadas da análise e simulação de big data para encontrar instruções eficazes para melhorar o desempenho da fabricação e alcançar a capacidade de tomada de decisão da fábrica inteligente. Os resultados demonstram viabilidade prática das soluções desenvolvidas para aumentar a produtividade e a flexibilidade. Além disso, os autores afirmam que a deficiência na visão e estratégia das operações digitais, bem como a falta de infraestrutura e redes baseadas na internet são dificuldades inerentes à Indústria 4.0.

Baseando-se nas premissas das teorias da Difusão da Inovação e Difusão Organizacional da Inovação, Sachdeva *et al.* (2017) propõem uma estrutura de pesquisa que consiste em examinar vários facilitadores que possivelmente desempenham um papel vital na difusão da Indústria 4.0 no setor de manufatura da Europa e, ainda, analisam como sua adoção afetará o desempenho das empresas de manufatura europeias nos próximos anos. A estrutura proposta pelos autores ajuda a identificar vários facilitadores na adoção da Indústria 4.0 em empresas de manufatura europeias. Consideram como dificuldade a deficiência na visão e estratégia das operações digitais.

Ibarra *et al.* (2018) identificaram um conjunto de recursos, questões e requisitos e três abordagens diferentes foram sugeridas para aproximar as empresas do fenômeno da Indústria 4.0, como orientação a serviços, ecossistemas em rede e orientação ao cliente. Também foram estabelecidas as implicações nos componentes do modelo de negócios, permitindo identificar diferentes maneiras de transformar os modelos de negócios. Em primeiro lugar, foi definida a melhoria do modelo de negócios tradicional devido a uma inovação incremental de ambos, criação de valor e entrega de valor. Em segundo lugar, a diversificação do modelo de negócios real por meio da reconfiguração de ecossistemas de rede de valor foi descrita como uma inovação radical. Por fim, foi proposta uma nova tipologia do Modelo de Negócios baseada na *smartização* de produtos e serviços. Com isso, os

autores frisam as dificuldades baixo entendimento sobre a Indústria 4.0 e falta de competência na aplicação de novos modelos de negócio.

Por outro lado, Lins *et al.* (2018), que consideram restrições financeiras como dificuldades importantes a serem consideradas, abordaram o assunto de implementação da Indústria 4.0 tomando como iniciativa a proposta de uma maneira de realizar o processo de adaptação (*retrofitting*) dos equipamentos e processos, por meio de uma plataforma que, independentemente do modelo ou tipo de equipamento industrial, oferece recursos para integrar esse equipamento à Indústria 4.0. A plataforma sugerida pelos autores oferece recursos de tecnologia da Indústria 4.0 para equipamentos industriais sem restrição de tipo ou modelo. Outro benefício da plataforma é a flexibilidade de instalar mais recursos, de acordo com a particularidade do equipamento que passou pelo processo de adaptação. Entre as contribuições, estão requisitos para padronizar o processo de adaptação; definição de tecnologias para *retrofitting* da Indústria 4.0; gerenciamento de integração e comunicação de equipamentos industriais e sensores de IoT; detecção e monitoramento unificado de todos os dispositivos do setor após a modernização do setor 4.0.

Moica *et al.* (2018), que consideram diversas dificuldades, apresentam um estudo de caso em uma empresa automotiva baseado em um modelo de maturidade para implantar a Indústria 4.0. A empresa analisada iniciou algumas atividades de colaboração corporativa. Isso envolveu a criação de interfaces para comparar outros processos de produção de ponta e criar melhorias devido a projetos de inovação por meio de uma estreita colaboração com universidades locais. Segundo os autores, todas essas etapas representam os resultados da implementação da estratégia da Indústria 4.0 e são consideradas etapas que qualquer outra empresa pode aplicar para se tornar uma empresa inovadora. Na mesma linha de raciocínio, Puchan *et al.* (2018) também utilizam de um modelo de maturidade para se basearem e criarem um modelo de implantação. Por sua vez, eles citam como dificuldades a falta de mão de obra qualificada e a falta de integração de plataformas de tecnologia.

Na pesquisa de Moktadir *et al.* (2018), os autores citam que criariam um modelo de implantação da Indústria 4.0 tendo como referência os desafios enfrentados pelas indústrias de couro de Bangladesh. Entretanto, ao decorrer do trabalho, os autores mudam de foco e abordam quais desafios tem maior e menor impacto na implantação da Indústria 4.0, enfatizando as questões ambientais, por se tratar de um segmento de indústria que faz o uso excessivo de produtos químicos, degradando o meio ambiente.

Telukdarie *et al.* (2018) realizaram um trabalho baseado na literatura sobre a necessidade de integrar e padronizar um negócio global, no que diz respeito à Indústria 4.0 onde alguns desafios são destacados. A estrutura do trabalho é voltada aos paradigmas atuais de ERM / MES e sistemas de controle. Como conclusão, a pesquisa apresenta o desenvolvimento de uma única solução padronizada, desempenhando um papel global e otimizando o padrão apenas com alterações centralizadas, oferecendo a oportunidade de gerenciar e automatizar os negócios, além de fornecer inteligência e otimização de negócios de um único conglomerado de sistemas. Nesse estudo a falta de mão de obra qualificada, a deficiência na visão e estratégia das operações digitais e a falta de integração de plataformas de tecnologia são citadas como dificuldades importantes a serem levadas em consideração.

Cristian *et al.* (2019) enfatizam a importância do planejamento ao implementar a Indústria 4.0. Antes da implementação, a fase de planejamento deve ser muito bem executada, isto é, definir onde a Indústria 4.0 pode ser implementada, o que deve ser alcançado, como os planos correspondentes podem ser implementados e quais aspectos de segurança, ética da máquina, ética da informação ou ética do trabalho devem ser considerados. Ao responder a essas perguntas, os autores concluem que pode-se descobrir quais recursos de natureza material e imaterial são necessários e quais são as vantagens e desvantagens que devem ser esperadas na implantação da quarta revolução industrial. As dificuldades apontadas pelos autores estão relacionadas com a redução de oportunidade de emprego e a falta de mão de obra qualificada.

No artigo de Frank *et al.* (2019), os autores objetivam identificar diferentes padrões de adoção de diferentes tipos de tecnologia da Indústria 4.0. De acordo com as descobertas, as empresas cujo nível de implantação é mais avançado tendem a adotar a maioria das tecnologias e não um subconjunto específico. Para as tecnologias adotadas, os autores estruturaram uma sequência de etapas de implementação, que é a principal contribuição do estudo, mostrando como as tecnologias da Indústria 4.0 são implementadas e inter-relacionadas. Ainda citam como dificuldades o baixo entendimento sobre a Indústria 4.0 e falta de mão de obra qualificada.

Hidayatno *et al.* (2019) têm como objetivo do trabalho descobrir o impacto sistêmico do desenvolvimento e implementação de tecnologia da Indústria 4.0 para a transição energética sustentável nos países em desenvolvimento. Para isso, desenvolveram um modelo, em forma de diagrama de *loop* causal, que ilustra as variáveis no desenvolvimento da Indústria 4.0 identificando as principais variáveis para apoiar as tecnologias nas empresas da Indonésia. Essa pesquisa ressalta como dificuldade o baixo entendimento sobre a Indústria 4.0.

Sony e Naik (2019) abordam a implementação da Indústria 4.0 como um desafio bastante complexo se comparado à implementação de soluções de automação / sistemas ERP, entre outros, uma vez que em todos esses sistemas a tomada de decisão é centralizada, enquanto na Indústria 4.0 é descentralizada, o que resulta em uma radical reestruturação em toda a organização. Com isso, baseados na literatura, os autores citam dez lições para os gerentes terem em mente enquanto implementam a Indústria 4.0, sendo subdividida em três principais grupos (Avaliação da prontidão da organização para implementação da Indústria 4.0; Diretrizes de implementação; Benefícios da implementação). Os autores afirmam que algumas dificuldades podem atrasar o processo de implantação, como a falta de cultura digital, a falta de mão de obra qualificada e o baixo entendimento sobre a Indústria 4.0.

Todos os modelos encontrados citam ao menos uma dificuldade importante a ser considerada no processo de implantação da Indústria 4.0, entretanto, nenhum deles aborda maneira de solucioná-la, deixando uma lacuna, o que justifica a relevância dessa pesquisa.

É possível verificar as dificuldades identificadas nos modelos encontrados e a frequência de ocorrência no Quadro 2.

QUADRO 2 – FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DAS DIFICULDADES NOS MODELOS

Dificuldade	Frequência de ocorrência
Falta de mão de obra qualificada	10
Baixo entendimento sobre a Indústria 4.0	7
Deficiência na visão e estratégia das operações digitais	7
Falta de Integração de plataformas de tecnologia	4
Falta de cultura digital	3
Problemas de segurança dos dados	3
Redução de oportunidades de emprego	3
Restrições financeiras	3
Deficiência em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)	2
Falta de competência na aplicação de novos modelos de negócio	2
Falta de infraestrutura e redes baseadas na internet	2

Dos vinte modelos encontrados na literatura, dez citaram como dificuldade falta de mão de obra qualificada. Sete dos modelos mencionaram o baixo entendimento sobre a Indústria 4.0 e a deficiência na visão e estratégia das operações digitais como dificuldades que as empresas enfrentam. Falta de integração de plataformas de tecnologia é citada em quatro trabalhos. As dificuldades falta de cultura digital, problemas de segurança dos dados, redução de oportunidades de emprego e Restrições financeiras são abordadas em três diferentes modelos. Por fim, são mencionadas, em dois modelos distintos, as dificuldades relacionadas à deficiência em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), falta de competência na aplicação de novos modelos de negócio e falta de infraestrutura e redes baseadas na internet.

2.4. DIFICULDADES INERENTES À IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0

Esta seção apresenta as dificuldades inerentes à implantação da Indústria 4.0 identificadas na literatura. Para tanto foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura cujos detalhes estão apresentados na Seção 4.1.2 deste trabalho. Foram identificadas vinte e três dificuldades que estão no Quadro 3.

QUADRO 3 – DIFICULDADES INERENTES À IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0

Nº	DIFICULDADES / DESAFIOS	CONCEITO	REFERÊNCIA
1	Baixo apoio e dedicação da liderança no processo de implantação	O apoio e comprometimento da alta direção são condições indispensáveis para a implementação da Indústria 4.0	Gökalp <i>et al.</i> (2017) Savtschenko <i>et al.</i> (2017) Shamim <i>et al.</i> (2017)
2	Baixo entendimento sobre a Indústria 4.0	O entendimento sobre as implicações da Indústria 4.0 entre profissionais da indústria ainda é muito baixo, havendo diversas definições sobre o termo.	Almada-Lobo (2016) Hofmann and Rüsçh (2017)
3	Complexidade na análise de dados	A geração de dados heterogêneos por diferentes dispositivos físicos requer análise rápida e em tempo real.	Khan <i>et al.</i> (2017)
4	Crescimento Econômico baseado em mão de obra barata	A mão de obra barata pode desencorajar investimentos para a Indústria 4.0.	Dalenogare <i>et al.</i> (2018)
5	Deficiência em Pesquisa e desenvolvimento (P&D)	A pesquisa com foco científico fornece os fundamentos teóricos necessários para a Indústria 4.0.	Schmidt <i>et al.</i> (2015) Hermann <i>et al.</i> (2016)
6	Deficiência na visão e estratégia das operações digitais	A transformação digital exige uma visão e uma missão de operações digitais claras.	Erol <i>et al.</i> (2016)
7	Dificuldade na aquisição de dados de automação	A aquisição de dados é uma tarefa desafiadora na Indústria 4.0 devido a diferentes tecnologias, máquinas, sensores, sistemas físico-cibernéticos (CPS), dispositivos para <i>IoT</i> e redes de comunicação.	Khan <i>et al.</i> (2017)
8	Dificuldade para modelar e integrar dados	A integração de dados é importante para máquinas controladas e operadas remotamente, onde é necessária uma ação em tempo real.	Khan <i>et al.</i> (2017)
9	Dúvidas sobre o benefício econômico dos investimentos digitais	A falta de retorno do investimento claramente definido pode ser vista como um grande desafio para as iniciativas da Indústria 4.0.	Kiel <i>et al.</i> (2017) Marques <i>et al.</i> (2017)

QUADRO 3 – DIFICULDADES INERENTES À IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 (CONT.)

Nº	DIFICULDADES / DESAFIOS	CONCEITO	REFERÊNCIA
10	Falta de competência na aplicação de novos modelos de negócios	O desenvolvimento de modelos de negócios não é visto como uma competência central das empresas, o que pode dificultar o desenvolvimento de novos modelos de negócios dentro da Indústria 4.0.	Khan <i>et al.</i> (2017) Saucedo-Martinez <i>et al.</i> (2017)
11	Falta de cultura digital	A digitalização é o principal requisito para iniciar a Indústria 4.0 no ambiente dos negócios. Além disso, ela é geralmente de natureza interdisciplinar que requer digitalização para conectar diferentes elementos de uma rede.	Ras <i>et al.</i> (2017) Schuh <i>et al.</i> (2017)
12	Falta de infraestrutura e redes baseadas na internet	Conectividade com a Internet deficiente é uma barreira predominante para as iniciativas da Indústria 4.0.	Leitão <i>et al.</i> (2016) Bedekar (2017) Pfohl <i>et al.</i> (2017)
13	Falta de integração de plataformas de tecnologia	A integração da tecnologia é essencial para uma comunicação eficaz e maior produtividade.	Zhou <i>et al.</i> (2015)
14	Falta de Mão de Obra qualificada	A mão de obra precisa entender os principais processos, suas dependências e desenvolver o conhecimento necessário para coletar e utilizar dados e aproveitar a digitalização na produção inteligente de produtos e serviços inteligentes.	Erol <i>et al.</i> (2016) Ras <i>et al.</i> (2017)
15	Falta de padronização dos dados	Para alcançar o sucesso, as indústrias precisam seguir padrões globais e protocolos de compartilhamento de dados.	Branke <i>et al.</i> (2016) Khan <i>et al.</i> (2017)
16	Falta de suporte e apoio governamentais	As políticas e diretrizes do governo são cruciais para desenvolver os negócios de uma empresa por meio da Indústria 4.0.	BRICS Business Council (2017)
17	Má qualidade de dados existentes	A qualidade dos dados é um dos principais requisitos para a tomada de decisões na implantação bem-sucedida da Indústria 4.0.	Santos <i>et al.</i> (2017)
18	Problema de coordenação e colaboração cliente-fornecedor	A colaboração e a transparência entre os membros são importantes para entender as políticas organizacionais adotando conceitos da Indústria 4.0.	Lee <i>et al.</i> (2014) Duarte e Cruz-Machado (2017) Pfohl <i>et al.</i> (2017)
19	Redução de oportunidades de emprego	Com sistemas interligados e tomadas de decisão mais rápidas, as oportunidades de emprego podem minguar.	Zhou <i>et al.</i> (2015) Zezulka <i>et al.</i> (2016) Waibel <i>et al.</i> (2017)
20	Problemas de Segurança dos dados	Os sistemas produtivos possuem vulnerabilidades de segurança inerentes, que são exploradas por invasores.	Sommer (2015) Wang <i>et al.</i> (2016) Pereira <i>et al.</i> (2017)

QUADRO 3 – DIFICULDADES INERENTES À IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 (CONT.)

Nº	DIFICULDADES / DESAFIOS	CONCEITO	REFERÊNCIA
21	Questões Legais	Os modelos de negócios baseados em dados são questionados devido à incerteza legal em relação ao roubo à propriedade de dados	Schröder (2016) Müller <i>et al.</i> (2017a)
22	Relutância ao implantar a Indústria 4.0	Devido ao desconhecimento de possíveis benefícios, a maioria das indústrias reluta em adotar tecnologias baseadas na Indústria 4.0.	Müller <i>et al.</i> (2017b) Theorin <i>et al.</i> (2017) Perales <i>et al.</i> (2018)
23	Restrições financeiras	As empresas necessitam realizar altos investimentos em seu parque de máquinas e infraestrutura de TI, bem como custos para pessoal de TI e treinamentos técnicos.	Dawson (2014) Theorin <i>et al.</i> (2017) Nicoletti, (2018)

As dificuldades são descritas nas seções a seguir.

2.4.1. BAIXO APOIO E DEDICAÇÃO DA LIDERANÇA NO PROCESSO DE IMPLANTAÇÃO

A liderança no cenário da Indústria 4.0 deve ter suas características e engajamento voltados à transformação digital (GÖKALP *et al.*, 2017). Esse ponto é uma dificuldade acentuada nos líderes mais experientes, com maior tempo exercendo a função, aceitando menos a nova realidade (SAVTSCHENKO *et al.*, 2017). A grande resistência está na nova forma de trabalhar, tendo necessidade de sair da zona de conforto (SHAMIM *et al.*, 2017). O apoio e comprometimento da alta direção são condições indispensáveis para a implementação efetiva de qualquer projeto ou programa dentro da empresa, seja no âmbito de novos produtos, da qualidade, da gestão ou de novas tecnologias, etc. Não é diferente no caso da implantação das tecnologias da Indústria 4.0. A liderança desempenha papel significativo na condução da transformação digital da organização. Pesquisadores afirmam que a liderança tem influência direta e indireta na inovação do modelo de negócios como parte da transformação digital (BERMAN, 2012; PREM, 2015; LI, 2018).

A liderança digital é formada por características globais, profundas e criativas, alinhadas com a mudança da Indústria 4.0, onde o ecossistema da empresa precisa ser mais inovador, padronizado, modular, interoperável, descentralizado, em tempo real e orientado a serviços (IBARRA *et al.*, 2018). Na era digital, o líder deve agir com uma mentalidade global definida para se interconectar e ser mais criativo para apoiar a cultura de inovação nas respectivas empresas. Eles sempre devem pensar na nova maneira de fazer negócios e terem conhecimento profundo em assumir riscos e tomar decisões para tornar a empresa mais inovadora, modular e descentralizada. Em outras palavras, a liderança deve facilitar a capacidade digital das empresas de serem integradas no desenvolvimento de cultura e competência (RUDITO e SINAGA, 2017).

A alta administração é quem dita os rumos da organização e estabelece quais recursos serão utilizados em determinada área ou projeto. Portanto, se a empresa optou por implantar as tecnologias da Indústria 4.0, a alta administração tem que dar o apoio necessário de se dedicar ao processo de implantação (De Waal *et al.*, 2016).

Quando o corpo diretivo da empresa não dá apoio e não se compromete com algum programa ou projeto, certamente este não será bem-sucedido. Uma liderança que se abstém nos processos de transformação digital, além de estar no caminho contrário da empresa e demonstrar nitidamente o desinteresse nas mudanças, está também retardando a implementação efetiva das tecnologias da Indústria 4.0 (MIHARDJO *et al.*, 2019).

2.4.2. BAIXO ENTENDIMENTO SOBRE A INDÚSTRIA 4.0

O entendimento sobre as implicações da Indústria 4.0 entre profissionais da indústria ainda é muito baixo, havendo diversas definições sobre o termo. Além disso, muitas organizações ainda não possuem uma compreensão básica dos aspectos-chave da Indústria 4.0, dificultando o processo de

implantação por não saberem com o que estão lidando (ALMADA-LOBO, 2016).

Pesquisa realizada em 2018 pela Fiesp (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo), com 227 empresas do Estado de São Paulo, declara que 32% das empresas não têm o entendimento sobre a Indústria 4.0 (FIESP 2018). O claro entendimento sobre os aspectos da Indústria 4.0 é indispensável para as empresas que estão implementando as tecnologias em seus processos. É preciso que a empresa saiba exatamente o que está implantando, onde e como está direcionando seus recursos. Esse entendimento é crucial, pois abre caminho para decisões importantes, incluindo quais pesquisas precisam ser realizadas, quais fatores são os mais importantes a serem abordados pelas empresas e quais são os próximos passos a serem tomados (HOYER *et al.*, 2020).

Particularmente, as empresas lutam para entender o que é a Indústria 4.0, pois geralmente são focadas apenas em aspectos tecnológicos. Estudos apresentam diferentes razões pelas quais as empresas decidem a favor ou contra a adaptação dos seus processos à Indústria 4.0, levando a uma falta de clareza sobre quais fatores são realmente relevantes. Esse entendimento é necessário para criar uma base sólida aos profissionais para que possam formular estratégias eficazes (BUER *et al.*, 2018).

Com o baixo entendimento sobre a Indústria 4.0 os profissionais não entendem a sua importância e não conhecem a fundo as consequências/ implicações na realização dos seus objetivos (HOFMANN e RÜSCH, 2017). A falta de uma visão clara ou apenas um entendimento parcial da Indústria 4.0 leva à confusão e agrava a comunicação dentro da organização (BUER *et al.*, 2018).

2.4.3. COMPLEXIDADE NA ANÁLISE DE DADOS

As tecnologias da Indústria 4.0 envolvem uma atividade intensa de análise de dados e extração de informações relevantes de um *Big Data*. É uma atividade

complexa devido as suas características que envolvem volume, velocidade, variedade, veracidade e valor referentes aos dados (LIU *et al.*, 2020). A correta tomada de decisão, que é um ponto chave para as empresas, se torna mais difícil e lenta de acordo com a complexidade da análise dos dados (GHASEMAGHAEI, 2019).

Pesquisa revela que apenas 27% das empresas relataram que seus investimentos em análise de dados foram bem-sucedidos. Uma razão para a falha é que muitas empresas ainda não conhecem as condições necessárias para analisar dados de forma simples e com eficácia (GHASEMAGHAEI *et al.* 2017).

Análise de dados, ou *Data Analytics*, é o processo de analisar informações com um propósito específico, ou seja, pesquisar e responder perguntas com base em dados e com uma metodologia clara para todos os envolvidos. É a análise de dados que permite informações serem compreendidas pelos negócios, a fim de prever tendências e acompanhar métricas, o que são entradas importantes para tomada de decisão (MAROUFKHANI *et al.*, 2020).

A capacidade de analisar dados de forma correta tornou-se um fator crítico para o sucesso das empresas, pois permite que elas percebam melhor as ameaças e oportunidades, as modelem e as aproveitem (JANSSEN *et al.*, 2017).

Uma empresa que utiliza extensivamente a análise de dados pode ter uma melhor capacidade de compartilhar conhecimento dentro da empresa e melhorar a qualidade das tomadas de decisão (GHASEMAGHAEI, 2019).

Se não for superada a complexidade da análise de dados na implantação da Indústria 4.0, isso pode gerar uma análise incorreta de dados e impedir a detecção de fraudes, criação de sistemas de recomendação, detecção de falhas industriais, mineração de processos, gerenciamento, dados de máquinas, transporte, análise de mercado, análise de produção e recomendação de novos produtos (KHAN *et al.*, 2017).

2.4.4. CRESCIMENTO ECONÔMICO BASEADO EM MÃO DE OBRA BARATA

Predominantemente, os empresários ainda têm o sentimento de que o crescimento econômico de países emergentes é baseado na mão de obra de baixo custo, especialmente para as atividades de manufatura. Essa ideia é de que a automação e outras tecnologias vinculadas à Indústria 4.0 podem ser mais caras nesses países em relação à mão de obra, causando o desencorajamento e o atraso nos investimentos (DALENOGARE *et al.*, 2018).

Desde o século XVII as revoluções industriais têm explorado a capacidade física da mão-de-obra, enquanto a Indústria 4.0, última das revoluções industriais (século XXI), dá precedência à capacidade intelectual como o elemento mais proeminente na criação de valor agregado. Tais circunstâncias levaram os países desenvolvidos a retirarem os investimentos de países cujas empresas possuem processos mais tecnológicos e investirem em países cuja mão-de-obra é de baixo custo, causando problemas na economia e na competitividade globais (BAL e ERKAN, 2019).

Entretanto, os países que implementam as tecnologias da Indústria 4.0 de maneira eficaz e, ao mesmo tempo, as aprimoram, obtêm maiores vantagens competitivas. Na Indústria 4.0, com menor mão-de-obra empregada, os custos unitários ficam mais baratos nos países que possuem manufatura compatível com as tecnologias. Essa mudança dá aos países vantagem competitiva na exportação de seus produtos, eliminando as vantagens de países que fabricam com o custo de mão-de-obra baixo, em comparação a países que implementam a Indústria 4.0. Além disso, os desenvolvimentos da manufatura inerentes à quarta revolução industrial, levarão a um aumento no crescimento econômico do país (OZKAN *et al.*, 2018).

O baixo custo de mão de obra não permeará de modo constante. Na atualidade, países que tinham como atrativo mão-de-obra barata, estão nivelando esses custos aos países desenvolvidos em um ritmo significativo (BAL e ERKAN, 2019). Estagnar-se no desenvolvimento tecnológico, mantendo a mão-de-obra de baixo custo como principal recurso para o

aumento da vantagem competitiva, fará com que as empresas percam espaço no mercado competitivo para aquelas que estão se atualizando e se adequando às tecnologias da Indústria 4.0 (TUSIAD, 2016).

2.4.5. DEFICIÊNCIA EM PESQUISA E DESENVOLVIMENTO (P&D)

Como uma grande dificuldade enfrentada pelas empresas que estão implantando a Indústria 4.0, Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) envolve um alto grau de risco e incerteza, do ponto de vista interno da empresa, geralmente requer uma grande quantidade de capital e suporte financeiro de longo prazo, o que acaba se tornando um temido investimento (LAI *et al.*, 2015). A dificuldade está em apostar em um investimento de P&D sem ter rápido retorno planejado, fazendo com que as empresas nem mesmo se arrisquem investir.

P&D é a junção da pesquisa e do desenvolvimento, considerando-se que a pesquisa “é utilizada como ferramenta, para a descoberta de novos conhecimentos”, enquanto que desenvolvimento refere-se à “aplicação através do processo de novos conhecimentos para se obter resultados práticos” (KOHL e ZONATTO, 2011).

Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), de uma forma geral, diz respeito a pesquisa com foco científico das várias iniciativas e abordagens de um novo processo ou produto, fornecendo fundamentos teóricos necessários para a implantação de novas tecnologias e inovação nos processos da indústria. Isso também se aplica para a Indústria 4.0. Investir em Pesquisa e Desenvolvimento permite que as empresas conheçam precisamente suas estratégias de decisão durante a transformação digital do negócio (SCHMIDT *et al.*, 2015).

P&D desempenha um papel importante no aumento da produtividade por meio da inovação ou até mesmo da replicação de algo já existente. As melhorias de produtividade são impulsionadas pelo progresso tecnológico (nova tecnologia) e por novas formas de organizar processos de produção

intimamente relacionados às atividades de P&D (LEE, 2020). É uma importante fonte de vantagem competitiva para as empresas que estão implantando as tecnologias da Indústria 4.0. De fato, em um ambiente extremamente competitivo, a sobrevivência se baseia na capacidade de entregar rapidamente esforços de P&D para gerar inovação, atualizar a tecnologia e aumentar o valor agregado dos mercados e da produtividade (WANG et al., 2013).

A deficiência que as empresas enfrentam nesse processo causa, na maioria das vezes, problemas na adoção efetiva da Indústria 4.0 de modo a não terem domínio sobre as tecnologias disponíveis e capacidade inovadora de seus processos (HERMANN et al., 2016).

2.4.6. DEFICIÊNCIA NA VISÃO E ESTRATÉGIA DAS OPERAÇÕES DIGITAIS

Ao implantar a Indústria 4.0, as empresas enfrentam a dificuldade da falta de visão e estratégia no processo de digitalização. Como em todos os negócios, toda mudança exige visão e estratégia bem estabelecidas. Algumas empresas têm dificuldade em saber se, por exemplo, vão transformar seus processos e locais de produção de forma incremental (aos poucos) ou de forma radical (substituindo todo processo e sistemas por sistemas totalmente digitalizados) (ALBUKHITAN, 2020).

O desenvolvimento e a implementação de uma estratégia de transformação digital tornaram-se um requisito importante para as organizações, mas como essa estratégia pode ser desenvolvida é uma preocupação (EROL *et al.*, 2016).

A estratégia de transformação digital é vista como um plano estruturado e formal que direciona uma empresa ao longo de sua jornada de transformação digital. Assim, amplia a análise prática e discute os benefícios e riscos associados às tecnologias digitais de maneira abrangente. A estratégia ajuda os líderes a responder às perguntas de seus negócios, como o nível atual de digitalização, visão de futuro e como chegar lá (ISMAIL *et al.*, 2017).

Para a implementação bem-sucedida das tecnologias da Indústria 4.0, são necessárias mentalidade diferente e comunicação de uma estratégia clara em relação às novas tecnologias entre todos os setores da empresa. Além disso, a visão do negócio é indispensável, pois a transformação é considerada como um processo de longo prazo, com fases cíclicas e sucessivas, tendo natureza interorganizacional e interfuncional (SABRI *et al.*, 2018).

A deficiência na visão e estratégia das operações digitais é uma das dificuldades mais graves que uma empresa pode enfrentar. A ausência desses fatores impossibilita que a organização enxergue sua jornada e possa, conseqüentemente, discutir os efeitos das tecnologias digitais em seus processos, além de não serem capazes de atribuírem responsabilidades adequadas e claras para a definição e implementação da transformação digital. Se a estratégia e visão não forem abordadas com entusiasmo, as empresas poderão perder seu escopo e encontrar dificuldades operacionais (MATT *et al.*, 2015).

2.4.7. DIFICULDADE NA AQUISIÇÃO DE DADOS DE AUTOMAÇÃO

Com as novas possibilidades de integração e necessidade de contextualizar os dados de chão de fábrica, relatórios, controle de consumo, rastreabilidade, dentre outras demandas da Indústria 4.0, fica evidente a árdua atividade de coletar os dados. A aquisição de dados é uma tarefa desafiadora para as empresas devido ao fato de o processo conter diferentes tecnologias, máquinas, sensores, sistemas físico cibernéticos, dispositivos IoT e redes de comunicação (KHAN *et al.*, 2017; GITTNER *et al.*, 2019).

O termo Aquisição de Dados é usado geralmente quando a tarefa envolve um computador ou outro equipamento digital para armazenar as informações referentes ao processo de uma máquina ou processo. Só é possível a análise e estudo dos dados se a aquisição desses dados e informações sobre um equipamento e/ou processo for realizada corretamente (INSTRUMATIC (2011).

Um exemplo prático da aquisição de dados – ainda durante a terceira revolução industrial, antes mesmo da Indústria 4.0 – diz respeito às operações de uma empresa, cujas informações geradas por cada máquina são coletadas para verificar se tudo está funcionando sem problemas e dentro da meta. São necessárias informações para planejar ordens de produção, organizar cronogramas de manutenção e calcular o número de máquinas e pessoal necessário para a produção (CHOPRA e MEINDL, 2010). Outro exemplo, é o caso das operações logísticas, quando são tomadas decisões para agendar, rotear e escolher o modo de transporte relevante. Os dados podem ser coletados para rastrear veículos ou medir o nível e a localização do armazenamento de inventário (TOWNSEND et al., 2018).

Dados úteis são perecíveis, isto é, a utilidade dos dados muda muito rapidamente. Se as empresas não coletarem os dados necessários em tempo hábil, elas podem estar agindo com informações inválidas e desatualizadas. A análise e o processamento desses dados podem produzir conclusões enganosas e inúteis, que acabam por levar à tomada de decisões imprecisas (CAI e ZHU, 2015).

Se a organização não for capaz de adquirir dados de forma robusta e com qualidade, tem-se grande probabilidade de fracassar nas etapas futuras da implantação das tecnologias da Indústria 4.0 em seus processos KHAN *et al.*, 2017).

2.4.8. DIFICULDADE PARA MODELAR E INTEGRAR DADOS

Uma dificuldade enfrentada pelas empresas é a modelagem e integração dos dados de todos os diferentes processos e fontes de dados da empresa. A dificuldade está em lidar com a grande variedade de fontes de dados e das diferentes maneiras em que os dados se apresentam, o que pode atrapalhar a homogeneização de informações e o melhor entendimento dos usuários (KHAN *et al.*, 2017).

Os modelos de dados são ferramentas que permitem demonstrar como serão construídas as estruturas de dados que darão suporte aos processos de negócios, como os dados estarão organizados e quais os relacionamentos que se pretende estabelecer entre eles. A modelagem serve para organizar a forma de pensamento sobre os dados, demonstrando o significado e a aplicação prática deles. Representa o ambiente, documenta, fornece processos de validação e observa processos relacionados (MIRANDA, 2017).

Já a integração de dados envolve a combinação de dados que residem em diferentes fontes e fornece aos usuários uma visão unificada deles (REDDY, 2019).

Modelar e integrar os dados de forma correta dá a permissão para controlar e operar máquinas e processos automatizados em tempo real e ainda, por exemplo, estimar o custo do produto. Dessa forma, a empresa proverá informações específicas para todos os processos até o usuário final (KHAN *et*

Não ter um modelo que explique as características de funcionamento e comportamento de um software e também não integrar os diferentes dados e informações presentes em um processo permite o surgimento de erros de programação, projeto e funcionamento e o conseqüente revés no processo de implantação das tecnologias da Indústria 4.0.

2.4.9. DÚVIDAS SOBRE O BENEFÍCIO ECONÔMICO DOS INVESTIMENTOS DIGITAIS

A falta de clareza sobre os benefícios econômicos da Indústria 4.0 é uma dificuldade que as empresas enfrentam por não terem convicção sobre o retorno financeiro proveniente do investimento em tecnologias durante a implantação de tecnologias. O desconhecimento sobre esses benefícios impossibilita o cálculo preciso do *payback* dos investimentos, deixando os dirigentes de empresas inseguros quanto ao aporte financeiro (KIEL *et al.*, 2017).

Quando se fala em benefício econômico de qualquer que seja o investimento, a intenção é a demonstração do quanto uma medida de investimento é lucrativa para os negócios da empresa. Uma forma de demonstrar o benefício econômico de um investimento é pelo cálculo do *Payback*, que significa o tempo de retorno do investimento, sendo um dos principais indicadores a serem verificados para o bom funcionamento das empresas. Esse retorno representa o tempo decorrido entre o investimento no negócio e o momento no qual o lucro se iguala ao montante que foi investido (TREASY, 2016).

Entretanto, pouco são estudadas as métricas de como calcular retornos financeiros sobre os investimentos gerados pelas tecnologias da Indústria 4.0. Isso se dá devido às incertezas que ainda permeiam as empresas sobre a digitalização. Conhecer o impacto econômico das mudanças que a revolução digital permite é fundamental para saber como se adaptar ao cenário da digitalização e estabelecer a forma mais fácil para a implantação das tecnologias da Indústria 4.0 (MARQUES *et al.*, 2017)

Quando uma empresa não é capaz de reconhecer os benefícios ou a viabilidade econômica de um investimento, nesse caso investimentos digitais, corre-se o risco de investimentos digitais não serem aprovados por falta de análise mais profunda. Além disso, a probabilidade de tomar decisões incorretas é bastante alta (RIERA e IJIMA, 2018).

2.4.10. FALTA DE COMPETÊNCIA NA APLICAÇÃO DE NOVOS MODELOS DE NEGÓCIO

A questão de como as novas tecnologias afetam os modelos de negócio é pouco estudada (BOCK e WIENER, 2017). Consequentemente as empresas não sabem como podem ser os novos modelos de negócio para a Indústria 4.0 (SARVARI *et al.*, 2018) e nem como transformar os modelos de negócio tradicionais voltados à Indústria 4.0. As empresas sofrem por não entenderem o modelo de negócio existente suficientemente bem para saber quando e/ou como ele precisa mudar (GRÜNERT e SEJDIĆ, 2017). Portanto, as aplicações dos modelos de negócio relacionados à indústria 4.0 são

baseados principalmente em tentativa e erro e carecem de orientação sistemática (LAUDIEN e DAXBÖCK, 2016).

É uma dificuldade para as empresas, sobretudo para seus cientistas de dados, escreverem em seus novos modelos de negócios algoritmos adequados para revelarem importantes insights a serem praticados, isto é, como serão utilizadas máquinas e ferramentas nos novos processos (KHAN *et al.*, 2017).

Modelo de negócio é definido como a “descrição da lógica de como uma organização cria, distribui e captura valor”. Determina o produto ou serviço que uma empresa irá produzir ou fornecer, o método de produção, o seu público alvo e suas fontes de receita (OSTERWALDER *et al.*, 2014).

A Indústria 4.0 está associada a avanços que assumem a oportunidade ou mesmo a exigência de alterar os modelos de negócio atuais (KAGERMANN *et al.*, 2013). A adoção de novos modelos de negócio é necessária para que a empresa possa competir globalmente com um ambiente altamente personalizado e flexível. Estabelecer e seguir um modelo de negócio bem definido, tende a tornar a jornada de implantação da Indústria 4.0 das empresas concluída com sucesso (SAUCEDO-MARTÍNEZ *et al.*, 2017).

“Uma tecnologia medíocre adotada dentro de um grande modelo de negócios pode ser mais valiosa do que uma grande tecnologia explorada por meio de um modelo de negócio medíocre” (WEKING *et al.*, 2020).

A incapacidade da aplicação de um modelo de negócio a novas condições digitais e tecnológicas impede a empresa de alcançar resultados concretos e satisfatórios, podendo acabar prejudicada no processo de implantação da Indústria 4.0 (GASSMANN *et al.*, 2014).

2.4.11. FALTA DE CULTURA DIGITAL

Ao implementar qualquer nova ferramenta ou metodologia há uma barreira bastante grande no que diz respeito à cultura da organização. Aceitar uma

nova cultura, novos costumes e uma forma diferente de trabalhar é uma grande dificuldade para as empresas e seus funcionários. Para estabelecer uma cultura digital não é diferente (RAS *et al.*, 2017).

Cultura digital refere-se basicamente à necessidade de criar uma atitude mental aberta e positiva em relação a futuros desafios tecnológicos (BRUNETTI *et al.*, 2020). A digitalização é uma mudança no paradigma de como pensar, como agir, como se comunicar com o ambiente externo e uns com os outros. As estratégias de comunicação representam o principal objetivo da revolução digital. O principal aspecto da revolução digital não são as novas tecnologias em si, mas as mudanças na cultura, comportamento, atitude, pensamento, postura e posicionamento do modelo tradicional para o modelo digital. Transformação digital é, na verdade, sobre pessoas e sobre a forma de resolver problemas e gerar valor para os clientes (MININA e MABROUK, 2019).

Na transformação digital, "pensar" e "agir" de forma digital é diferente de apenas processos de digitalização. Isso requer que uma mudança fundamental na mentalidade organizacional seja uma verdadeira organização de aprendizado, sustentada pelo pensamento sistêmico, domínio pessoal, modelos mentais, construção de visão compartilhada e aprendizado em equipe (SIVARAMAN, 2020)

A digitalização é o principal requisito para iniciar a implantação das tecnologias da Indústria 4.0 (SCHUH *et al.*, 2017). Garantindo que a cultura digital se instale, a empresa estará mais próxima do sucesso em sua jornada (RAS *et al.*, 2017).

A falta de cultura digital impede a conexão de diferentes elementos de uma rede e a integração entre as diversas áreas da empresa. As organizações devem ter consciência de que podem deixar de existir em função da incapacidade de se adaptar à transformação digital (BRUNETTI *et al.*, 2020).

2.4.12. FALTA DE INFRAESTRUTURA E REDES BASEADAS NA INTERNET

No contexto da Indústria 4.0, onde o número e a heterogeneidade de sensores podem ser muito grandes e os requisitos de tempo são muito rigorosos, surge o desafio de projetar infraestruturas eficazes para interagir com esses sistemas complexos (VITA *et al.*, 2020). A carência de dispositivos com capacidade de processamento satisfatória e de infraestrutura robusta necessária para garantir a qualidade e rapidez na conexão com a Internet é uma dificuldade presente em grande parte das empresas que estão implantando a Indústria 4.0 (BEDEKAR, 2017).

Pesquisa realizada entre 227 indústrias localizadas no Estado de São Paulo, 1º polo econômico do Brasil, indicou que apenas 18% das empresas consideram sua infraestrutura de redes baseadas na Internet adequada para suportar as tecnologias da Indústria 4.0 (VDI, 2020).

Em termos gerais, a infraestrutura de tecnologia da informação e comunicação diz respeito ao conjunto de elementos, além de todo o equipamento relacionado à tecnologia da informação, usado para desenvolver, testar, fornecer, monitorar e controlar sistemas e processos (GAIDARGI, 2018). A infraestrutura é composta pelos elementos (COMDESK, 2020):

- Hardware: consiste na tecnologia para processamento computacional, armazenamento, entrada e saída de dados. Inclui, também, equipamentos para reunir e registrar dados, meios físicos para armazená-los e os dispositivos de saída da informação processada;
- Software: é dividido em softwares de sistema e de aplicativos. Os de sistema administram os recursos e as atividades do computador. Os de aplicativos direcionam o computador a uma tarefa específica solicitada pelo usuário;
- Rede: proporciona conectividade de dados entre funcionários, clientes e fornecedores. Isso inclui a tecnologia para operar as redes internas da organização, os serviços prestados por companhias telefônicas ou de

telecomunicações e a tecnologia para operar sites e conectar-se com outros sistemas computacionais por meio da internet;

- Serviços: as organizações precisam de pessoas para operar e gerenciar os outros componentes da infraestrutura de TI, além de ensinar seus funcionários a usar essas tecnologias em suas atividades.

A infraestrutura é composta de recursos físicos e virtuais que suportam o fluxo, armazenamento, processamento e análise de dados (GAIDARGI, 2018).

O acesso à uma infraestrutura bem desenvolvida permite que a empresa tenha agilidade em sua conexão. Isso resulta no controle de dispositivos físicos remotamente (de forma distante) e no acesso em tempo real ao *big data*, sem que haja interferências ou atrasos (LEITÃO et al., 2016).

No processo de implantação das tecnologias da Indústria 4.0, infraestrutura e instalações precárias geram uma rede de banda larga carregada e, por consequência, demasiadamente lenta. Essa lentidão resulta em atrasos no controle remoto de dispositivos físicos e problemas na conexão e comunicação com outros dispositivos, além da morosa obtenção de informações (PFOHL et al., 2017).

2.4.13. FALTA DE INTEGRAÇÃO DE PLATAFORMAS DE TECNOLOGIA

Integrar todos os dados gerados pelas tecnologias que compõem a Indústria 4.0 é um grande desafio para as empresas. Essa dificuldade ocorre pelo fato de necessitarem projetar uma interface flexível para integrar diferentes componentes e sistemas de forma eficiente e em tempo real. Um fator que potencializa o entrave é a existência de sistemas legado, que são sistemas antigos que permanecem em operação detendo bancos de dados obsoletos, por geralmente não serem compatíveis com novas tecnologias (MEGA, 2018).

A integração de plataformas de tecnologia consiste em combinar diferentes programas e aplicativos, de modo a conectá-los em um único ecossistema

corporativo, facilitando a gestão das equipes, a documentação dos processos e os fluxos de trabalho (*workflows*) (QIAN *et al.*, 2019). Na prática, a importância da integração de plataformas diz respeito às demandas impostas pelo mercado competitivo, com clientes críticos, seletivos e sedentos por personalização e boas experiências no atendimento (QUALITOR, 2020).

A integração de plataformas de tecnologia é essencial para uma comunicação eficaz, tendo como vantagens destacadas (ZHOU *et al.*, 2015):

- Maior agilidade: não existe o retrabalho de inserir diversas vezes a mesma informação em todas as plataformas utilizadas, garantindo uma gestão integrada;
- Maior confiabilidade: como cada sistema busca informações diretamente na fonte, deixa todos os processos mais confiáveis;
- Aumento da produtividade: os colaboradores têm mais tempo para se dedicar a outros processos; e
- Redução de custos: o ganho em produtividade da equipe e a diminuição de erros incorrerá diretamente em redução de custos operacionais do negócio.

Uma empresa que não tem a eficiência na integração de plataformas de tecnologia está sujeita a cometer erros operacionais (duplicar dados, por exemplo), aumentar a burocracia em seus processos, impactando em sua produtividade e na malsucedida análise e composição de informações.

2.4.14. FALTA DE MÃO DE OBRA QUALIFICADA

É uma dificuldade para as empresas encontrarem, dentro ou fora da organização, mão de obra com o devido perfil para explorar as ferramentas da Indústria 4.0 e auxiliar em sua evolução. Os profissionais atualmente carecem de competência para a gestão de questões complexas relacionadas à análise e interpretação de dados, espaço ou tempo, uso de instruções específicas, na adoção efetiva da Indústria 4.0 (RAS *et al.*, 2017).

Mesmo que a implementação de novas tecnologias melhore a competitividade, também exige um novo conjunto de conhecimentos e habilidades. As tecnologias da Indústria 4.0 pressupõem uma atualização do conhecimento e da competência em todos os níveis, especialmente entre aqueles que operam e utilizam as tecnologias no processo de fabricação (OECD, 2017).

É certo que os profissionais da Indústria 4.0 tenham que desenvolver uma formação multidisciplinar, mas com habilidades e competências específicas. Também terão que aprender a lidar com equipamentos e máquinas inteligentes, ações que requerem maior senso de adaptação, observação e decisão e vão muito além do simples apertar de botões. O senso de urgência também será maior devido a disseminação dos sistemas de *big data* e do acesso às informações que antes eram restritas aos sistemas internos das empresas (INTHURN, 2020).

Pesquisa divulgada pela Confederação Nacional da Indústria (CNI), realizada com 1.946 indústrias do Brasil, aponta que cinco em cada dez indústrias brasileiras (50%) têm dificuldade em contratar por causa da falta de trabalhador qualificado. A vaga existe, mas, muitas vezes, a empresa não consegue preenchê-la. Essa dificuldade aumenta ainda mais se forem consideradas habilidades para lidar com tecnologias da Indústria 4.0 (CNI, 2019).

Embora o número de empregos na indústria provavelmente seja reduzido no futuro, é provável que os requisitos de conhecimento para os que permanecem mudem, tornando a educação profissional um tópico importante para as empresas de produção (LUND e KARLSEN, 2019).

Ter profissionais qualificados integrados à sua equipe, faz com que as empresas tenham maior competência e assertividade na trajetória rumo à Indústria 4.0 (EROL *et al.*, 2016).

É comprovado que a falta de mão de obra qualificada para lidar com as tecnologias da Indústria 4.0 é um agravante para as organizações. As indústrias poderão enfrentar grandes problemas na implantação se não tiverem em seu quadro de funcionários características digitais. Além disso, as tarefas poderão ser desempenhadas de maneira ineficiente, aumentando o tempo de execução e a consequente tomada de decisão tardia ou errônea, o que pode impactar negativamente na produtividade e na vantagem competitiva da empresa (GÁBOR *et al.*, 2018).

2.4.15. FALTA DE PADRONIZAÇÃO DOS DADOS

Apresentar dados e informações em diferentes formatos para diferentes usuários é uma grande dificuldade para as empresas que estão implantando as tecnologias da Indústria 4.0.

Entraves enfrentados com a padronização dos dados não começaram a ser discutidos apenas com a chegada da Indústria 4.0. Antes, com as tecnologias da informação e comunicação, buscando a padronização de dados, são relatados: as incertezas sobre os dados obtidos pela transferência e integração da informação de softwares; a comunicação necessária entre a indústria, para que se proceda a padronização, é ineficiente; o volume de procedimentos da empresa também é um fator limitante, afinal, quanto maior a quantidade de procedimentos, mais informações necessitam ser padronizadas (JACOSKI e LAMBERTS, 2003).

Além disso, algumas questões técnicas também obstruem a padronização de dados, como por exemplo, a incompatibilidade de *hardware* e a interoperabilidade de *softwares* entre a cadeia de participantes que não são compatíveis (KHAN *et al.*, 2017).

A exposição dos dados é necessária em diferentes formas no contexto da Indústria 4.0. O operador que opera as máquinas precisa que os dados sejam mostrados de forma simples para controlar as máquinas remotamente. Os analistas de dados precisam do *Big Data* para mineração e extração de

informações úteis. Desenvolvedores e programadores estão interessados em todos os formatos de dados disponíveis para atualização e adição de novos módulos. Os dirigentes das empresas querem diferentes tipos de relatórios. Os clientes precisam de dados detalhados de diferentes produtos para compra (BRANKE et al., 2016).

Na medida em que as empresas padronizam os dados de forma eficiente, em todos os níveis necessários, alguns benefícios podem ser observados (INGIRIGE *et al.*, 2001). Mesmo sendo relatados em eras industriais anteriores, ainda se estendem e valem perfeitamente para a Indústria 4.0. Os benefícios são:

- Redução do tempo de discussões;
- Melhoria na qualidade da informação disponível para os usuários;
- Melhoria na integração e comunicação interna, proporcionando acréscimo de produtividade; e
- Facilidade para automação de tarefas.

Sem a padronização dos dados não é possível alcançar a interoperabilidade, dificultando ou até mesmo impossibilitando o entendimento de informações apresentadas para os mais diversos usuários como operadores, analistas de dados, desenvolvedores e programadores, dirigentes das empresas, e clientes, dificultando o bom desempenho da implantação da Indústria 4.0 (BRANKE et al., 2016).

2.4.16. FALTA DE SUPORTE E APOIO GOVERNAMENTAIS

De uma forma geral, os processos para aquisição de subsídios governamentais são demasiadamente burocráticos e demandam bastante tempo, o que se considera um obstáculo para o desenvolvimento de novos processos e tecnologias pelas empresas (ZHAO e ZIEDONIS, 2020). Na grande maioria dos países, o governo não tem conhecimento sobre os

conceitos e impactos da Indústria 4.0, fazendo com que se ausentem nos incentivos e gerando maior dificuldade para as empresas no processo de implantação das tecnologias da Indústria 4.0 (BRICS *Business Council*, 2017).

Suporte e apoio governamentais referem-se à “medida em que uma empresa em particular obtém assistência, como políticas, incentivos e programas favoráveis do governo e de seus departamentos administrativos” para implementação de novos produtos, tecnologias ou até mesmo novas unidades industriais (SHU *et al.*, 2016).

O apoio governamental pode ser dividido em apoio direto ou indireto. O apoio direto significa que o governo assiste uma empresa diretamente, com o fornecimento de subsídios ou redução de impostos (MARDOYAN e BRAUN, 2015). Já o apoio indireto significa que o governo assiste uma empresa indiretamente, seja na forma de construção de uma rede Inter organizacional, fornecendo garantias financeiras e publicidade (NISHIMURA e OKAMURO, 2011).

É muito importante para o desenvolvimento das empresas o apoio governamental por meio de subsídios, políticas e diretrizes, revelando um roteiro para transformar as funções tradicionais em processos mais inteligentes e sustentáveis. A definição de diretrizes e instruções por analistas políticos e órgãos governamentais é um importante impulsionador para as empresas comporem seu processo de implantação da Indústria 4.0 (BRICS *Business Council*, 2017).

Não buscar ou não obter suporte e apoio do governo, seja de qualquer natureza, pode fazer com que a empresa perca oportunidades de desenvolvimento de novas tecnologias, além de gastos desnecessários que poderiam ser absorvidos por meio de subsídios governamentais (BRANDER *et al.*, 2015).

2.4.17. MÁ QUALIDADE DE DADOS EXISTENTES

Apesar da grande variedade, do enorme volume e da rápida velocidade na obtenção dos dados (por meio do *Big Data*), a qualidade desses dados está longe de ser perfeita, sendo uma preocupante dificuldade para as empresas na implantação da Indústria 4.0 (GHASEMAGHAEI *et al.* 2017).

A diversidade de fontes de dados aumenta a dificuldade em garantir a precisão dos dados que estão integrados. Quando as empresas integram em larga escala diferentes tipos de dados provenientes de várias fontes, é difícil garantir a qualidade dos dados (CAI e ZHU, 2015). Pesquisa indica que apenas 25% das empresas relataram que o processamento e a análise de *big data* lhes permitiram melhorar seus resultados significativamente. Esse baixo número é reflexo da má qualidade dos dados (HENKE *et al.*, 2016).

“Qualidade dos dados” é definida como “dados adequados ao uso”. É um fator crítico para qualquer programa de análise de dados e um dos principais requisitos para a implantação bem-sucedida da Indústria 4.0, indispensável para gerar informações e decisões corretas ao longo da trajetória digital (SANTOS *et al.*, 2017).

Embora existam ferramentas avançadas de análise de dados que podem detectar informações úteis de uma grande quantidade de dados heterogêneos, os resultados e o valor final do processamento e análise do *Big Data* serão influenciados pela qualidade dos dados (GHASEMAGHAEI *et al.* 2017).

A qualidade de dados é dividida em dimensões (CAI e ZHU, 2015):

- Precisão: é a proximidade de um valor do dado a um valor considerado correto;
- Integridade: definido como o grau em que uma determinada coleta de dados inclui todos os valores de dados esperados;

- Pontualidade: avalia a validade temporal dos dados e expressa o quão “atual” são os dados analisados; e
- Consistência: refere-se à violação de regras semânticas definidas em um conjunto de itens de dados.

Como as empresas têm acesso a grandes quantidades de dados – evento que se potencializou com o surgimento da Indústria 4.0 – a importância da qualidade dos dados aumentou (BAESENS *et al.*, 2016).

Quanto maior o acesso a dados completos, oportunos e precisos, maior a confiabilidade e utilidade desses dados na geração de informações e *insights* valiosos (FILIERI, 2015). O conceito de uma boa qualidade de dados visa melhorar os resultados das tomadas de decisão, permitindo análises de dados confiáveis e aumentando a eficiência do manuseio de informações (SCHUH *et al.* 2019).

Sem qualidade nos dados obtidos, a prática de inovações da Indústria 4.0 se torna complexa. As empresas estão suscetíveis a tomarem decisões erradas quando processam dados com baixa qualidade, podendo encontrar dados duplicados, com formatação inadequada, ausência de informações importantes, dados obsoletos e incoerentes, resultando em análises e projeções ruins, além da possibilidade de perdas financeiras e de vantagem competitiva (SANTOS *et al.*, 2017).

2.4.18. PROBLEMA DE COORDENAÇÃO E COLABORAÇÃO CLIENTE-FORNECEDOR

Uma grande dificuldade enfrentada por empresas que almejam a implementação da Indústria 4.0 é a colaboração entre seus clientes e fornecedores. Isso se faz necessário pois é preciso a sincronização de dados por meio da padronização de interfaces de seus sistemas com alta compatibilidade de *hardware* e *software* (LEE *et al.*, 2014).

Entretanto, se já é difícil coordenar e garantir as atividades para implantação da Indústria 4.0 dentro da própria empresa, obter a colaboração de seus

clientes e fornecedores é uma tarefa extremamente complexa (PFOHL *et al.*, 2017).

Ter boa comunicação e transparência com toda a cadeia de suprimentos (clientes e fornecedores) é indispensável para todas as empresas. Esse aspecto é ainda mais importante no que diz respeito à implantação da Indústria 4.0 (KAGERMANN *et al.*, 2013).

Com o avanço tecnológico, as empresas necessitam se reinventar de maneira a permitir que se adaptem às necessidades emergentes dos clientes e, por exemplo, estejam aptas a mudanças não planejadas, agendem manutenções e prevejam de falhas, podendo avançar mais facilmente na implementação das tecnologias da Indústria 4.0 (JAZDI 2014).

Problemas de coordenação e colaboração entre empresas (cliente-fornecedor) podem causar dificuldades para entender os conceitos adotados logo no início da implantação da Indústria 4.0 bem como retardar a trajetória de sua implementação, uma vez que os sistemas e tecnologias não estarão conectados e sincronizados (DUARTE e CRUZ-MACHADO, 2017).

2.4.19. PROBLEMAS COM A REDUÇÃO DE OPORTUNIDADES DE EMPREGO

Sempre quando um novo processo e tecnologia são implantados, o medo dos gestores em reduzir a oportunidade de trabalho devido às mudanças é grande. Essa é uma dificuldade para as empresas, seja pela substituição de seres humanos por robôs, ou pela possibilidade de enfrentarem questões legais (desligamentos e processos trabalhistas) e também sociais (por aumentar o índice de desemprego de sua região) (WAIBEL *et al.*, 2017).

Os impactos do aumento das inovações tecnológicas perturbam os mercados de trabalho, pois algumas habilidades humanas estão se tornando substituíveis no mercado devido à capacidade das máquinas. A influência dessas inovações não é apenas nas tarefas manuais rotineiras, mas também nas cognitivas e não rotineiras. Atualmente, algumas das tarefas executadas

por trabalhadores humanos estão em risco devido à automação e digitalização de processos e robôs de serviço que podem substituir tarefas rotineiras de trabalhadores, por exemplo (FREY e OSBORNE, 2017).

O uso da automação, máquinas e dispositivos integrados é premissa para a implantação da Indústria 4.0 (ZHOU *et al.*, 2015) e uma das questões atuais do mercado de trabalho é a capacidade das empresas em analisar como o progresso da tecnologia nos processos de produção afetará o mercado de trabalho, especialmente no contexto da substituição de trabalhadores humanos por máquinas (NOVAKOVA, 2020).

Por um lado, a Indústria 4.0 e suas tecnologias vêm substituindo o trabalho individual, por outro lado, tem-se criado tipos de profissões para as pessoas digitalmente alfabetizadas, as quais estão tornando valiosas por terem capacidade de participar de discussões sobre leis e políticas sobre inteligência artificial (HOESCHL *et al.*, 2017).

As empresas estão cada vez mais tendo altos custos com desligamentos e processos trabalhistas. Essas questões legais estão aumentando concomitantemente ao poder e as capacidades dos robôs. Além disso, como os fabricantes estão tentando permanecer competitivos no mercado, estão tentando maximizar lucros e, assim, reduzir custos. Independentemente dos investimentos iniciais em máquinas e equipamentos e na automação de processos, as empresas se concentram em um período de longo prazo, no qual podem aumentar a produtividade e reduzir os custos de mão-de-obra. Ao mesmo tempo, as empresas estão cientes de que as máquinas, diferentemente das pessoas, não serão incapazes de trabalhar, não negociarão aumentos salariais, não exigirão benefícios e, finalmente, economizarão custos e aumentarão a produtividade (ARNTZ *et al.*, 2016).

A indústria manufatureira está passando por uma transformação. As empresas que não se adaptarem não conseguirão se adequar rapidamente para produzir e desenvolver produtos flexíveis, ou seja, não atenderão às diferentes demandas. Além disso, se não forem capazes de lidar com as

medidas relacionadas à oportunidade de emprego em prol da digitalização, não estarão aptas para sustentar a implantação das tecnologias da Indústria 4.0 em seus processos (NOVAKOVA, 2020).

2.4.20. PROBLEMAS DE SEGURANÇA DOS DADOS

Uma dificuldade para as empresas é impedir o vazamento de dados importantes e sigilosos e a vulnerabilidade à exposição de informações estratégicas da organização para concorrentes ou até mesmo a ataques de *hackers* para controlarem maquinários físicos. A grande preocupação está na segurança contra as ameaças externas, acidentais ou intencionais, de modificação não autorizada, roubo ou destruição dos dados (KHAN *et al.*, 2017).

Segurança dos dados é um aspecto essencial que agrega valor aos dados e sua implementação se tornou uma necessidade real e deve ser adotada antes de qualquer exploração de dados. A segurança da informação trabalha com três princípios (TALHA *et al.*, 2019):

- Confidencialidade: o acesso aos dados da empresa deve ser restrito somente a quem é autorizado;
- Integridade: sem a proteção ideal, as informações da organização podem ser acessadas e modificadas por *hackers*. Mas também podem haver acidentes, causados por equívocos de algum colaborador, o que pode levar a empresa a ter enormes prejuízos;
- Disponibilidade: os dados devem estar disponíveis durante todo o tempo, para serem usados como fonte de informação para a tomada de decisões.

Na Indústria 4.0, a maioria dos dados é transmitida pela *Internet* e eles são armazenados no ambiente de computação em nuvem. Como a computação em nuvem fornece serviços baseados na *Internet*, existem muitos invasores e usuários mal-intencionados que tentam acessar os dados confidenciais de um usuário ou empresa sem ter a devida permissão de acesso. Ocorre ainda de

realizarem a substituição de dados originais por quaisquer outros dados falsos, o que preocupa cada vez mais as empresas (NAMASUDRA *et al.*, 2020).

Aplicando a segurança dos dados de forma consistente, as empresas poderão evitar alguns tipos de ataques cibernéticos, destacando:

- Introdução de *Malware*: invasores e usuários mal-intencionados injetam *scripts* mal-intencionados no servidor em nuvem e, quando esse código está sendo executado, eles acessam dados confidenciais. Às vezes, esse tipo de introdução é despercebido por um longo tempo, o que cria um problema sério no ambiente em nuvem (EZE e E., 2018);
- Ataque de *Side-Channel*: *hackers* e usuários são usados para colocar uma Máquina Virtual mal-intencionada ou não autorizada no mesmo *host* para obter dados ou informações confidenciais (SEGINFO, 2019);
- Ataque de *Phishing*: usuário mal-intencionado, não autorizado ou *hacker* obtém informações confidenciais de um usuário autorizado da organização, como ID do usuário, número do ID do usuário entre outras. Em seguida, o invasor utiliza essas informações sigilosas para obter qualquer serviço não autorizado do servidor em nuvem (NAMASUDRA *et al.*, 2020);
- Ataque Interno: um usuário ou invasor mal-intencionado viola qualquer política de segurança da organização para acessar qualquer dado ou serviço. Em um ambiente em nuvem, qualquer entidade pode ser um invasor para tentar um ataque interno (EZE e E., 2018); e
- Ataques de Negação de Serviços (DoS): invasores ou usuários mal-intencionados enviam inúmeras solicitações ao servidor em nuvem para tornar os serviços indisponíveis aos usuários da empresa (PRAKASH *et al.*, 2016).

Quando a segurança de dados é bem aplicada, a empresa é capaz de se blindar contra os ataques digitais, desastres tecnológicos ou falhas humanas, protegendo todos os dados importantes (KHAN *et al.*, 2017).

Se a organização não estiver alinhada com a segurança dos dados, a vulnerabilidade à ataques, intencionais ou não, e a consequente exposição de dados sigilosos poderá resultar em graves consequências e comprometer a implantação das tecnologias da indústria 4.0 em seus processos (TALHA *et al.*, 2019).

2.4.21. QUESTÕES LEGAIS

Os dados se tornaram os ativos mais preciosos das empresas e lidar com os dados de outras companhias, clientes e fornecedores requer bastante cautela. É imprescindível que as empresas levem em consideração as questões legais para não cometerem ou serem vítimas de crimes cibernéticos. É de extrema dificuldade para as empresas que pretendem implantar a Indústria 4.0 impedir ações que comprometam a disponibilidade, autenticidade, integridade ou confidencialidade dos dados (SCHRÖDER, 2016).

É um requisito essencial de qualquer organização proteger dados críticos e garantir que sistemas e redes de terceiros não sofram ataques cibernéticos. Uma análise regular de vulnerabilidade na atualidade é uma necessidade central para qualquer empresa proteger seus principais bancos de dados e também de clientes e fornecedores (SARALA *et al.*, 2016).

As empresas devem levar as questões legais em consideração pois os riscos à proteção dos dados estão relacionados à disponibilidade, confidencialidade e integridade. Cite-se como exemplo, os dados de clientes que são vazados ao público em geral (confidencialidade), sistemas que deixam de operar devido a falhas técnicas (disponibilidade) e alterações de informações em bancos de dados que causam o processamento errado de dados (integridade) (TOTVS, 2018).

O Relatório Anual de Violação de Dados, emitido pela IBM, cuja abrangência é global, enfatiza que o custo médio de violação de dados é de 3,86 milhões de dólares, com um custo médio de 48 dólares por registro roubado ou perdido IBM (2018). Esses custos, além de encargos jurídicos, podem levar uma empresa à falência, dependendo das questões legais negociadas (MÜLLER *et al.*, 2017a).

Se um invasor acessar dados confidenciais de uma empresa, terá grandes riscos de os mesmos serem violados. Violações de informações ou violação de dados podem desencadear devastações e prejudicar a reputação de uma organização por anos. As violações de dados têm consequências de longo alcance, de perda de negócios a multas administrativas e custos de correção. Portanto, caso ocorra qualquer tipo de vazamento de informações, o custo despendido para tratar de ações jurídicas relacionadas à legalidade dos dados é altíssimo, além de expor negativamente a imagem da organização (PATSAKIS, 2013).

2.4.22. RELUTÂNCIA AO IMPLANTAR A INDÚSTRIA 4.0

É importante estar disposto a enfrentar quaisquer mudanças dentro da empresa e com a Indústria 4.0 não é diferente. A relutância das pessoas em mudar ou sua indiferença à necessidade de mudar é uma dificuldade cultural e frequentemente subestimada, sendo geralmente não reconhecida pelas empresas (MÜLLER *et al.*, 2017b; THEORIN *et al.*, 2017).

Como a Indústria 4.0 introduz uma mudança revolucionária na forma como o trabalho é desenvolvido na empresa, sua implantação trata-se de um compromisso rigoroso, o que significa mudança nos processos em que os funcionários já estão familiarizados, podendo causar insatisfação e relutância nos colaboradores mais inflexíveis (TÜRKEŞ *et al.*, 2019).

O surgimento da Indústria 4.0 traz, além das tecnologias, a importância da mudança na cultura, na forma de trabalhar das empresas. A cultura organizacional é o sistema de valores, crenças e hábitos dentro de uma

organização que interage com a estrutura formal para produzir normas comportamentais, influenciar funcionários, seus graus de satisfação com o trabalho e os níveis de qualidade do seu desempenho. O comportamento e a mentalidade dos trabalhadores devem ser trabalhados (MACMAHON, 2013).

A estratégia e a tecnologia por si só não são suficientes para impulsionar a implementação da Indústria 4.0 nos processos de uma empresa. A cultura organizacional e o anseio da mudança são quesitos vitais no progresso de implantação. Por mais digitais que sejam, todas as organizações são humanas. Todas são compostas por pessoas, e essas pessoas devem evoluir e mudar o que fazem de maneira sustentada e consistente para que a organização também mude (DURHAM *et al.*, 2020).

A não aceitação em mudar a maneira de trabalhar acaba influenciando a empresa de uma forma generalizada, influenciando negativamente pessoas a tornarem os processos digitais. Esse comportamento relutante e a acomodação dos funcionários em geral retardam a implantação da Indústria 4.0, impedindo a empresa de alcançar os objetivos no tempo e da forma que se planeja (PERALES *et al.*, 2018).

2.4.23. RESTRIÇÕES FINANCEIRAS

Um grande obstáculo enfrentado na implementação das tecnologias da Indústria 4.0, sobretudo nas Pequenas e Médias Empresas (PMEs) é a restrição financeira. Para que seja possível a inserção dessas tecnologias nos processos industriais, as organizações necessitam desembolsar uma quantia considerável, o que é um desafio por conterem limitados orçamentos para novos investimentos (THEORIN *et al.*, 2017).

A implantação da Indústria 4.0 exige que as empresas invistam significativamente em *hardwares*, *softwares* e licenças, máquinas, infraestrutura compatível, mão de obra qualificada e desenvolvimento de pessoal, além de despesas indiretas de implementação. O investimento em tecnologias da Indústria 4.0 permite que as empresas conectem seus

processos, tenham informações e dados de maneira mais ágil, além da possibilidade da gerência tomar decisões de forma mais rápida (DAWSON, 2014).

Além de investir em tecnologias (o que inclui máquinas, *hardwares* e softwares), deve-se pensar em toda a questão que envolve segurança de informações, pois, como os dados têm se tornado um bem precioso para as empresas, os custos com métodos de prevenção à *hackers* e fraudes têm se tornado altos (MÜLLER *et al.*, 2017b).

A limitação de recursos financeiros obriga a alta gerência a ser comedida em relação ao seus investimentos e gastos de capital, podendo retardar o avanço da implantação das tecnologias da Indústria 4.0 em seus processos (NICOLETTI, 2018).

3. ABORDAGEM METODOLÓGICA

Este capítulo apresenta a abordagem metodológica utilizada no desenvolvimento da presente pesquisa. A classificação da pesquisa é apresentada e detalhada, bem como o procedimento de pesquisa utilizado para a construção do Método para priorizar e propor soluções para as dificuldades inerentes à implantação da Indústria 4.0.

3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

De acordo com Gil (1996), uma pesquisa científica pode ser definida como um procedimento racional e sistemático cujo objetivo é oferecer respostas aos problemas propostos. As fases que constituem o processo de desenvolvimento de uma pesquisa são caracterizadas desde a formulação do problema até a apresentação dos resultados. Com isso, conclui-se que a pesquisa científica tem como finalidade a resolução de um problema proposto.

A presente pesquisa está inserida no campo da Engenharia de Produção, na área de concentração de Gestão e Estratégia, dentro da linha de pesquisa Gestão Estratégica de Operações.

A classificação da pesquisa e os procedimentos adotados são ilustrados na Figura 8.

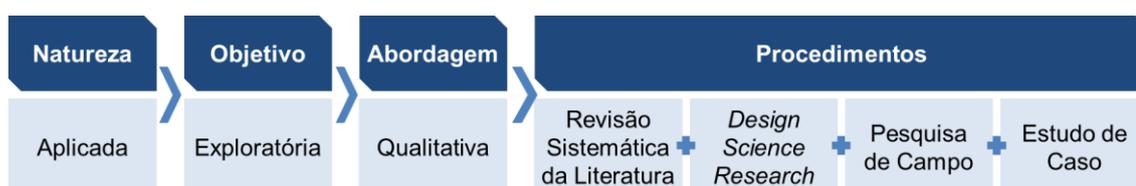


FIGURA 8 – CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA E PROCEDIMENTOS ADOTADOS

Quanto a sua natureza, esta pesquisa é classificada como aplicada, pois caracteriza-se por seu interesse prático, ou seja, o método será utilizado imediatamente na solução de problemas que ocorrem na realidade (TURRIONI e MELLO, 2012).

Quanto ao objetivo, a pesquisa é classificada como exploratória, visto que fornece informações com relação ao assunto investigado, definindo-o e delineando-o juntamente à formulação de hipóteses ou descobrindo um novo enfoque para o tema (GIL, 1996).

Quanto à abordagem da pesquisa, classifica-se como qualitativa, pois há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números (TURRIONI e MELLO, 2012).

Para a condução desta pesquisa serão utilizados os seguintes procedimentos: Revisão Sistemática da Literatura, *Design Science Research*, Pesquisa de Campo e Estudo de Caso.

3.2. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Para o desenvolvimento da pesquisa, definiram-se as seguintes etapas, conforme mostra a Figura 9.

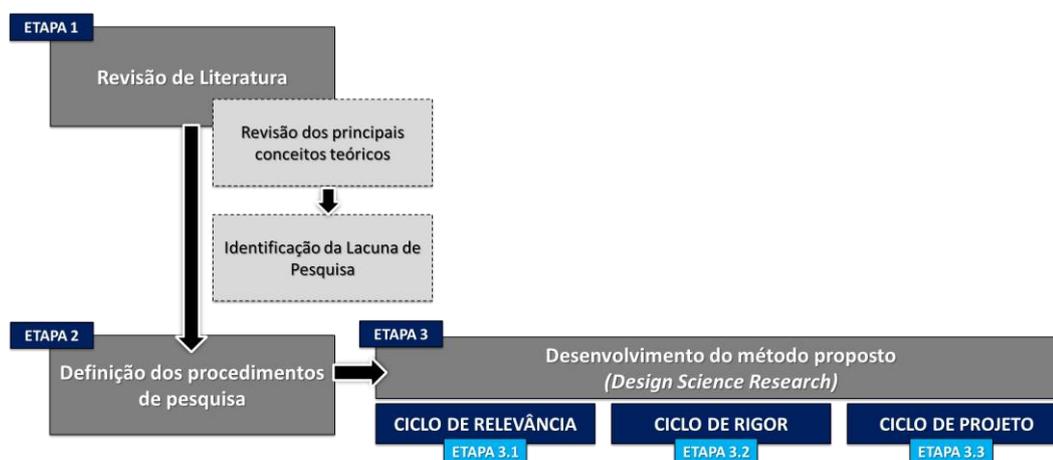


FIGURA 9 – ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

3.2.1. ETAPA 1 – REVISÃO DA LITERATURA

Na etapa 1, que contempla o Capítulo 2, tendo como base a literatura referente a Indústria 4.0, realizou-se o estudo sobre os conceitos relacionados ao tema, bem como suas principais características, objetivos, tecnologias e principais autores que contribuem com o assunto.

Adicionalmente, realizou-se um levantamento bibliográfico abordando a Indústria 4.0 e suas tecnologias, Índice de avaliação da maturidade da Indústria 4.0, Modelos de implantação da Indústria 4.0 que consideram dificuldades e Dificuldades Inerentes à implantação da Indústria 4.0, identificando a lacuna de pesquisa.

3.2.2. ETAPA 2 – DEFINIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE PESQUISA

Na Etapa 2, representada pelo Capítulo 3, são definidos os procedimentos de pesquisa que apóiam a construção do método. Como procedimentos de pesquisa, são adotados neste trabalho a Revisão Sistemática da Literatura, utilizada para identificar a lacuna de pesquisa e levantar os principais conceitos utilizados na construção da proposta de contribuição do trabalho. O *Design Science Research* foi adotado para desenvolver o método, por ser um procedimento adequado para se projetar métodos, correspondendo ao objetivo principal deste trabalho.

Realizou-se também uma pesquisa de campo com profissionais da indústria e da academia por meio da submissão de um instrumento de coleta de dados, a fim de priorizar e propor soluções para as dificuldades inerentes à Indústria 4.0. Esse procedimento de pesquisa está inserido na etapa de sugestão do *Design Science Research*, abordada no Capítulo 4, Seção 4.3.2.

Por fim, um estudo de caso é aplicado em uma empresa montadora de máquinas agrícolas para atender a etapa de avaliação do *Design Science Research*. Esta etapa é necessária para validar o modelo proposto e garantir

a sua aplicabilidade. O estudo de caso será discutido no Capítulo 4, Seção 4.3.4.

3.2.2.1. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA (RSL)

A Revisão Sistemática da Literatura (RSL) busca identificar, avaliar e integrar os resultados de todos os estudos individuais relevantes que abordam uma ou mais questões de pesquisas (BAUMEISTER e LEARY, 1997; GALVÃO e PEREIRA, 2014). Entende-se por método de Revisão Sistemática da Literatura como um processo para coletar, conhecer, compreender, analisar, sintetizar e avaliar um conjunto de trabalhos científicos com o intuito de fornecer base teórica-científica (estado da arte) sobre um determinado assunto pesquisado (LEVY e ELLIS, 2006).

De acordo com Levy e Ellis (2006), uma revisão sistemática da literatura efetiva é realizada por meio de três etapas: Entrada, Processamento e Saída, apresentadas na Figura 10.

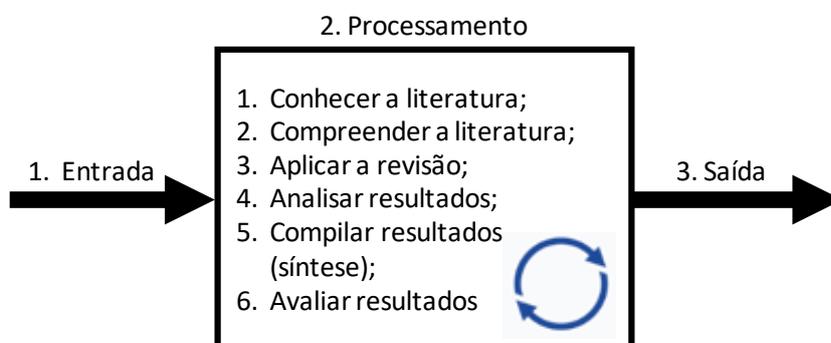


FIGURA 10 – ETAPAS DO PROCESSO DE REVISÃO DE LITERATURA EFETIVA

FONTE: ADAPTADO DE LEVY E ELLIS (2006).

A etapa um, denominada como “Entrada”, compreende a definição das problemáticas de pesquisa e o objetivo a ser atendido no trabalho. Além disso, determina-se as palavras-chaves ou expressões a serem utilizadas nas bases de dados acadêmicas para encontrar os artigos científicos alinhados com o objetivo do estudo. É a etapa onde são delimitados os critérios de

inclusão e estabelecidos critérios de exclusão, executando a pesquisa e compilando os resultados.

Na etapa de “Processamento”, os critérios preliminares definidos na etapa anterior são processados por meio de seis fases, de forma cíclica, para selecionar os documentos relevantes e alinhados com as problemáticas levantadas. Esta etapa é composta por seis fases: conhecer a literatura, compreender a literatura, aplicar a revisão, analisar resultados, compilar os resultados (síntese) e avaliar os resultados.

A etapa três, “Saída”, é composta pela apresentação e discussão dos resultados integrando os principais trabalhos evidenciados na RSL.

3.2.2.2. DESIGN SCIENCE RESEARCH

A ciência natural, cujo objetivo é descrever fenômenos naturais e sociais, se refere a um conjunto de conhecimentos sobre uma classe de objetos e/ou fenômenos do mundo e suas características. Simon (1996) complementa a ciência natural propondo a “ciência do artificial”, que se ocupa em estudar a maneira com que os objetivos devem se comportar a fim de realizar determinadas funções e atingir seu propósito. O “artificial” se refere à criação e ao projeto de um artefato, criado e produzido pelo homem (como por exemplo máquinas, organizações, economias, etc.), que tenha as propriedades desejadas e alcance objetivos definidos.

Os artefatos, de acordo com March e Smith (1995), podem ser constructos, modelos, métodos ou instanciações, definidos no Quadro 4.

QUADRO 4 – TIPOS DE ARTEFATOS

Tipos de Artefato	Constructos	Constructos ou conceitos formam o vocabulário de um domínio. Eles constituem uma conceituação utilizada para descrever os problemas dentro do domínio e para especificar as respectivas soluções.
	Modelos	Um modelo é um conjunto de proposições ou declarações que expressam as relações entre os constructos. Em atividades de <i>design</i> , modelos representam situações como problema e solução. Ele pode ser visto como uma descrição, ou seja, como uma representação de como as coisas são.
	Métodos	Um método é um conjunto de passos (um algoritmo ou orientação) usado para executar uma tarefa. Métodos baseiam-se em um conjunto de constructos subjacentes e um modelo em um espaço de solução.
	Instanciações	Uma instanciação é a concretização de um artefato em seu ambiente. Instanciações operacionalizam constructos, modelos e métodos. No entanto, uma instanciação pode, na prática, preceder a articulação completa de seus constructos, modelos e métodos.

FONTE: MARCH E SMITH (1995)

Diferentemente das ciências naturais, a missão da *Design Science* é o desenvolvimento de conhecimento para permitir a concepção e projeto de artefatos (VAN AKEN, 2004), tendo como objetivo projetar e produzir sistemas e objetos que ainda são inexistentes e/ou modificar situações existentes a fim de obter melhores resultados (LACERDA *et al.*, 2013).

Uma vez que a responsabilidade da *Design Science* é conceber, projetar e validar artefatos inexistentes (LACERDA *et al.*, 2013), a *Design Science Research* é o procedimento de pesquisa que operacionaliza seus conceitos para garantir sua validade e rigor científico (CHAKRABARTI, 2010).

Design Science Research se constitui em um procedimento rigoroso para projetar artefatos para a resolução de problemas, avaliar o que foi projetado ou o que está funcionando e comunicar os resultados obtidos (ÇAĞDAŞ e STUBKJÆR, 2011).

A execução deste procedimento de pesquisa ocorre por meio de três ciclos: relevância, rigor e projeto. O ciclo do projeto do artefato é central e fundamental, sendo onde está localizada a pesquisa em si. Entretanto, para validar uma pesquisa científica, sua interação com os ciclos de relevância e rigor é extremamente necessária (HEVNER, 2007). Os três ciclos que compõem a *Design Science Research* são ilustrados na Figura 11.

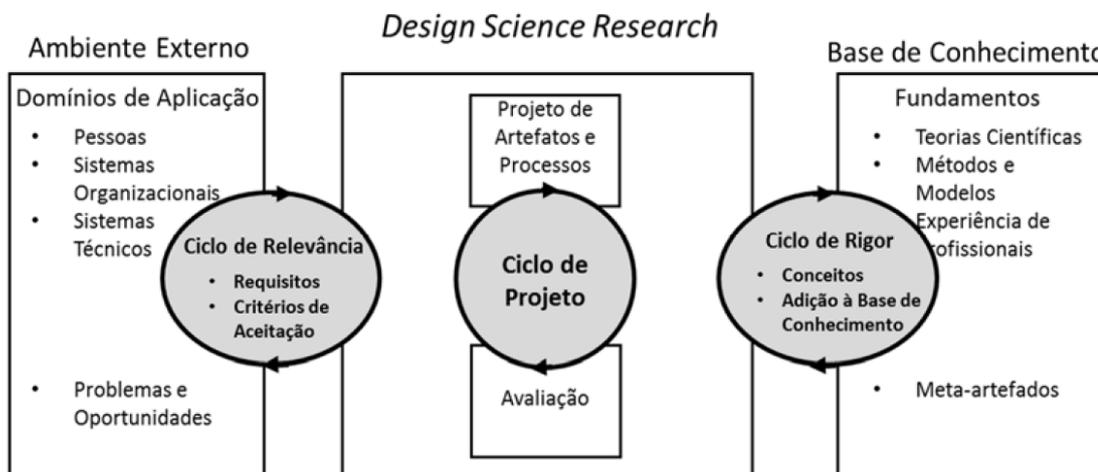


FIGURA 11 – CICLOS DO DESIGN SCIENCE RESEARCH

FONTE: HEVNER (2007).

A *Design Science Research* se inicia com o ciclo de Relevância. Neste ciclo são fornecidos os requisitos para a pesquisa, isto é, elenca-se oportunidades e/ou problemas nos domínios de aplicação existentes no ambiente externo: pessoas (funções capacidades, características, etc), sistemas organizacionais (estratégias, estruturas, cultura, processos, etc.) e/ou sistemas técnicos (infraestrutura, aplicações, literatura, etc.). Além disso, são definidos os requisitos da pesquisa bem como os critérios de aceitação do artefato, que serão entradas para o ciclo de Projeto (HEVNER, 2007).

O ciclo de Rigor é o segundo ciclo do procedimento. É onde uma vasta base de conhecimento deve ser analisada, fundamentando toda a pesquisa, incluindo teorias científicas, modelos de engenharia, experiência de profissionais no domínio de aplicação e os artefatos existentes. Neste ciclo são mostradas as teorias e conceitos utilizados para a concepção do artefato e também é analisado o atendimento aos requisitos pré-estabelecidos no ciclo de Relevância (HEVNER, 2007).

Sendo o ciclo central da *Design Science Research*, O ciclo de Projeto utiliza como entrada para seu desenvolvimento a saída dos ciclos de Relevância e Rigor. O objetivo desse ciclo é gerar ao menos uma proposta de projeto do artefato e demonstrar o êxito na avaliação de acordo com os requisitos da pesquisa (SIMON, 1996). Manson (2006) determina que, para tornar a

concepção do projeto do artefato ainda mais disciplinada, rigorosa e transparente, pode-se conduzir o projeto do artefato levando em consideração cinco etapas: conscientização, sugestão, desenvolvimento, avaliação e finalização. Essas etapas são apresentadas na Figura 12.

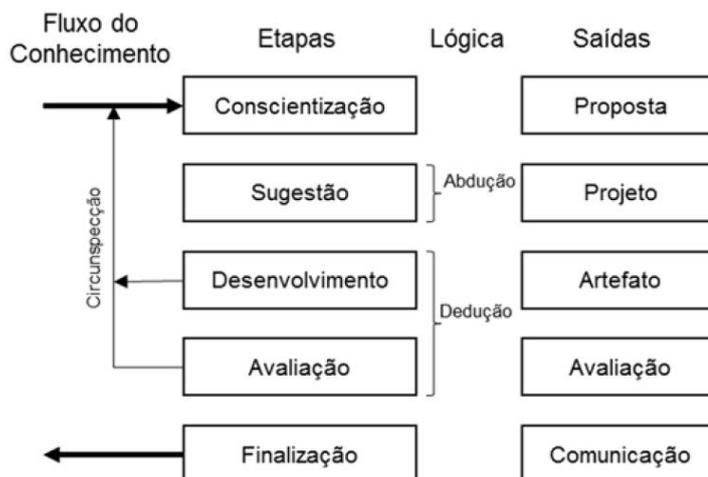


FIGURA 12 – ETAPAS DA DESIGN SCIENCE RESEARCH

FONTE: MANSON (2006).

A etapa de conscientização é onde o problema de pesquisa é compreendido de forma ampla, tendo como resultado a definição e formalização do problema, requisitos de pesquisa e o escopo do estudo (MANSON, 2006).

Na etapa de sugestão ocorre o processo criativo de abdução, onde é realizada a tentativa de formulação de pelo menos um projeto de artefato, levando em consideração que diferentes pesquisadores podem chegar a diferentes soluções (MANSON, 2006). Uma solução é dada como satisfatória quando houver um consenso entre os envolvidos no problema e quando os critérios de aceitação pré-estabelecidos forem atendidos pelo artefato (HEVNER, 2007).

A etapa de desenvolvimento é onde ocorre a dedução baseada nas teorias existentes. Nessa etapa o artefato é desenvolvido formando o seu estado funcional, podendo ser um algoritmo, *softwares*, sistemas, modelos, métodos, protótipos, entre outros (MANSON, 2006; LACERDA *et al.*, 2013).

A avaliação é a etapa onde é analisado o comportamento do artefato no ambiente para o qual foi projetado, verificando se a solução do problema de pesquisa foi atendida. Caso o artefato não atenda aos critérios de aceitação, é necessário retroagir na etapa de conscientização para ajustar a compreensão do problema de pesquisa, o que é chamado de circunspecção (MANSON, 2006). De acordo com Hevner *et al.* (2004), a avaliação pode ser realizada de forma observacional, analítica, experimental, por testes ou descritiva, conforme mostra o Quadro 5.

QUADRO 5 – MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DOS ARTEFATOS

Forma de Avaliação	Métodos e Técnicas propostos
Observacional	<ul style="list-style-type: none"> • Estudo de Caso: estudar o artefato, existente ou criado, em profundidade no ambiente de negócios; • Estudo de Campo: monitorar o uso do artefato em projetos múltiplos.
Analítica	<ul style="list-style-type: none"> • Análise Estática: examinar a estrutura do artefato para qualidades estáticas; • Análise da Arquitetura: estudar o encaixe do artefato na arquitetura técnica do sistema técnico geral; • Otimização: demonstrar as propriedades ótimas inerentes ao artefato ou então demonstrar os limites de otimização no comportamento do artefato; • Análise Dinâmica: estudar o artefato durante o uso para avaliar suas qualidades dinâmicas (por exemplo, desempenho).
Experimental	<ul style="list-style-type: none"> • Experimento Controlado: estudar o artefato em um ambiente controlado para verificar suas qualidades (por exemplo, usabilidade); • Simulação: executar o artefato com dados artificiais.
Teste	<ul style="list-style-type: none"> • Teste Funcional (Black Box): executar as interfaces do artefato para descobrir possíveis falhas e identificar defeitos; • Teste Estrutural (White Box): realizar testes de cobertura de algumas métricas para implementação do artefato (por exemplo, caminhos para a execução).
Descritiva	<ul style="list-style-type: none"> • Argumento informado: utilizar a informação das bases de conhecimento (por exemplo, das pesquisas relevantes) para construir um argumento convincente a respeito da utilidade do artefato; • Cenários: construir cenários detalhados em torno do artefato, para demonstrar sua utilidade.

FONTE: ADAPTADO DE HEVNER ET AL. (2004)

Por fim, a etapa de finalização tem como objetivo consolidar o conhecimento adquirido, o processo de criação e o projeto do artefato, seus mecanismos de avaliação e a obtenção de resultados (MANSON, 2006).

3.2.2.3. PESQUISA DE CAMPO

A Pesquisa de Campo tem como objetivo obter informações e/ou conhecimentos referentes a um problema para o qual procura-se uma resposta, ou comprovação de uma hipótese ou, até mesmo, descobrir novos fenômenos ou relações entre eles (MARCONI e LAKATOS, 1996).

As pesquisas de campo podem ser classificadas de acordo com os seguintes tipos:

- **Descritivas:** são investigações de pesquisa empírica com o objetivo de analisar as características de fenômenos e fatos, avaliar programas e isolamento de variáveis principais. Pode-se utilizar de métodos formais, que estejam ligados aos projetos experimentais, cuja característica é a precisão e controles estatísticos, visando prover dados para que hipóteses sejam verificadas. As técnicas de coleta de dados podem ser: entrevistas, questionários, formulários, etc. (MARCONI e LAKATOS, 1996);
- **Exploratórias:** tem como objetivo elevar o conhecimento e compreensão do pesquisador sobre o assunto estudado. É utilizada para facilitar a elaboração de um questionário ou serve como base para futuras pesquisas, auxiliando na formulação dos problemas de pesquisa. Também tem o intuito de esclarecer conceitos, auxiliar no desenvolvimento do projeto final da pesquisa, além de obter conhecimento de pesquisas semelhantes, ponderando os métodos e resultados. Como método de coleta de dados, utiliza questionários, entrevistas, observação participante, etc. (MATTAR, 1996).
- **Experimentais:** tem como finalidade testar hipóteses referentes a relações de tipo causa-efeito. Os estudos envolvem projetos experimentais que incluem os seguintes fatores: grupo de controle, seleção da amostra probabilística e manipulação de variáveis independentes com o objetivo de controlar ao máximo os fatores pertinentes. As pesquisas experimentais podem ser desenvolvidas por meio de estudos de campo, que visa

compreender aspectos da sociedade, e por estudos laboratoriais, onde o ambiente é rigorosamente controlado (MARCONI e LAKATOS, 1996).

Para parte deste estudo, será utilizada como procedimento a Pesquisa de Campo exploratória que compreende o método de levantamento de experiências (MATTAR, 1996), isto é, adquirir informações importantes de profissionais que acumulam experiências e conhecimentos sobre um tema ou problema em estudo.

Os levantamentos de experiências, além de ajudarem a aprofundar o conhecimento sobre o problema em estudo, poderão trazer outras contribuições para a pesquisa, como: problemas emergentes, métodos mais fáceis para conduzir a pesquisa, possibilidade de controlar fatores, possíveis fontes de dados e sua acessibilidade e disposição das pessoas em cooperar com o estudo (MATTAR, 1996).

3.2.2.4. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso é considerado um dos mais importantes métodos de pesquisa na gestão de operações, principalmente na concepção de novas teorias (VOSS *et al.*, 2002).

Considerado como uma investigação empírica, o estudo de caso analisa um fenômeno dentro de seu contexto da vida real, principalmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão estabelecidos de forma clara. Enfrenta uma situação em que haverá mais variáveis de interesse do que pontos de dados, resultando em várias fontes de evidências, além de beneficiar-se do desenvolvimento de proposições teóricas para conduzir a coleta e a análise de dados. Os estudos de casos podem ser classificados como (YIN, 2001):

- **Exploratório:** estudo piloto que pode ser conduzido para testar as perguntas que norteiam o projeto, hipóteses, e essencialmente os instrumentos e procedimentos. O estudo exploratório sendo concluído,

poderá resultar em perguntas alteradas, retiradas ou acrescentadas, ocorrer o aprimoramento de instrumentos, bem como a reformulação de hipóteses baseando-se no que funcionou ou não durante o estudo. Mesmo sendo classificado como exploratório, o estudo de caso deverá conter um planejamento cuidadoso e ser detalhado, com o intuito de evitar desperdício de tempo tanto do pesquisador quanto dos sujeitos envolvidos;

- **Descritivo:** tem como intuito mostrar uma realidade desconhecida ao leitor. Não estabelece relações de causa e efeito, mas mostra a realidade como ela é de fato, mesmo que os resultados sejam utilizados posteriormente para formular hipóteses de causa e efeito.
- **Explanatório:** pode ser considerado o mais completo, visto que tem por finalidade não apenas descrever uma determinada realidade, mas também explicá-la em termos de causa e efeito. O estudo de caso explanatório pode também ter como intuito a confirmação ou generalização de determinadas proposições teóricas.

Os estudos de casos podem combinar diversos métodos de coleta de dados, podendo ser: documentos de arquivo, entrevistas, questionários e observações. Suas evidências podem ser qualitativas (palavras), quantitativas (números) ou ambas (EISENHARDT, 1989).

3.2.3. ETAPA 3 – DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO PROPOSTO

Na Etapa 3 são apresentadas as etapas do desenvolvimento da pesquisa, tendo a *Design Science Research* como procedimento de apoio.

Para o desenvolvimento da pesquisa, foram utilizados os três ciclos da *Design Science Research*, propostos por Hevner (2007), juntamente com o apoio das cinco etapas do projeto abordadas por Manson (2006).

As etapas do desenvolvimento da pesquisa são demonstradas na Figura 13.

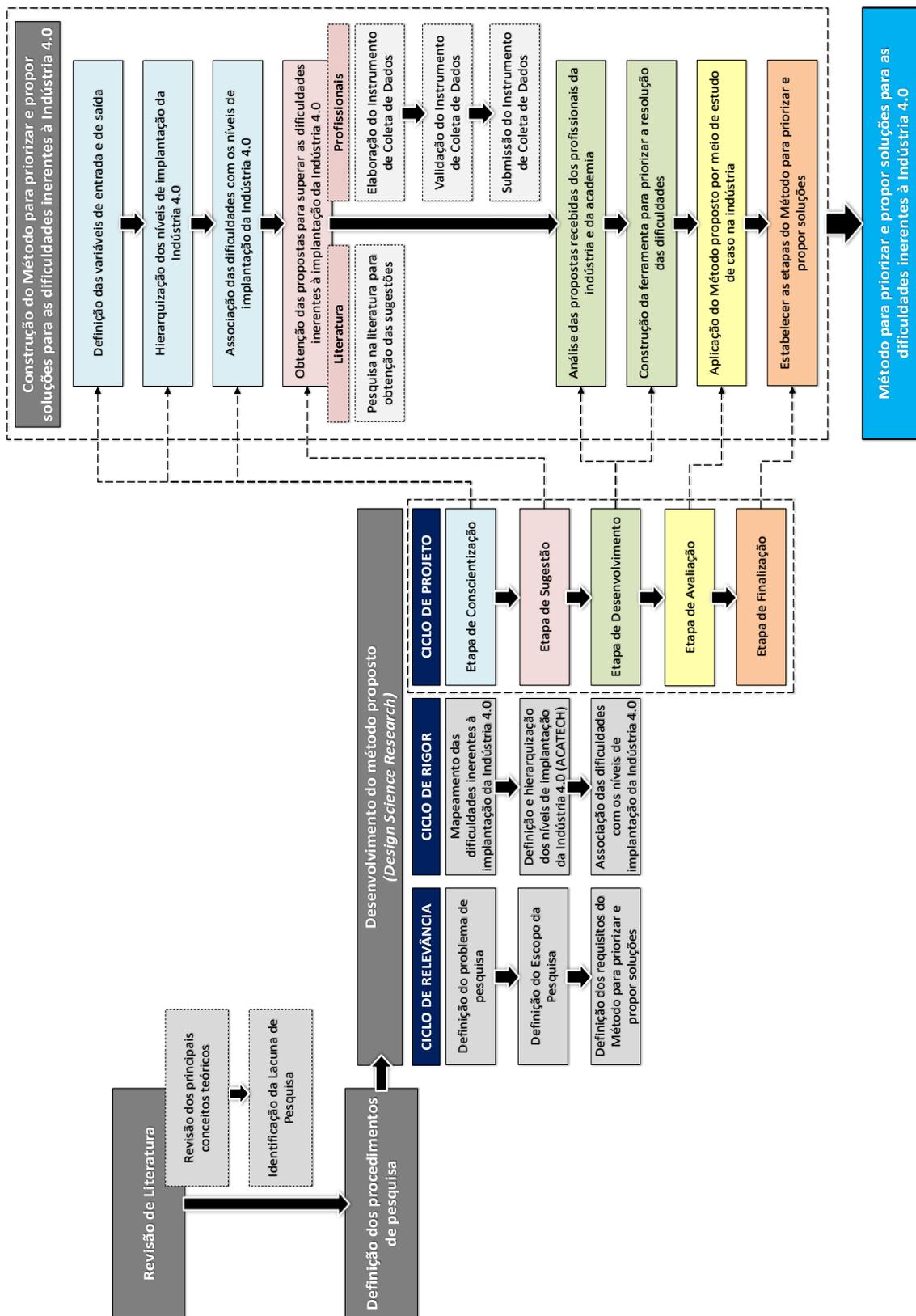


FIGURA 13– ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO PROPOSTO

A pesquisa inicia-se com a etapa de revisão de literatura sobre os principais conceitos teóricos como: Indústria 4.0, Índice de maturidade da Indústria 4.0, modelos de implantação da Indústria 4.0 que consideram dificuldades e dificuldades inerentes à implantação da Indústria 4.0. Tem por finalidade analisar o conhecimento atual na literatura e verificar a existência de publicações relacionadas a propostas de soluções para as dificuldades. A partir da inexistência dessas publicações, a lacuna de pesquisa é identificada.

A segunda etapa aborda a contribuição desta pesquisa definindo os procedimentos de pesquisa adotados para a concepção do método.

O procedimento de pesquisa utilizado é o *Design Science Research* devido ser a forma adequada para se criar métodos, neste caso para priorizar e propor soluções.

No ciclo de relevância são apresentadas as necessidades do método embasando-se na revisão de literatura e na lacuna para definir o problema e o escopo de pesquisa, bem como os requisitos do método.

O ciclo de rigor se baseia nas definições do ciclo de relevância e na revisão de literatura para identificar os conceitos teóricos que devem respaldar o método. Portanto, são i) mapeadas as dificuldades inerentes à implantação da Indústria 4.0, ii) definidos e hierarquizados os níveis de implantação de acordo com a trajetória de desenvolvimento da Indústria 4.0 constituída por Schuh *et al.* (2017), e iii) associadas as dificuldades mapeadas aos níveis de implantação estabelecidos.

O ciclo de projeto é baseado no desenvolvimento e definições dos ciclos anteriores (relevância e rigor) e é cumprido em cinco etapas. É a partir da execução dessas etapas que o método é construído.

Na etapa de conscientização procura-se um amplo entendimento do método. Portanto, as definições e requisitos abordados no ciclo de relevância são revisitados, definindo-se as variáveis de entrada e de saída a fim de atender a esses requisitos.

Na etapa de sugestão pretende-se formular o método. É elaborado um instrumento de coleta de dados com o propósito de se obter informações de campo. Este é submetido em reuniões de pequenos grupos, a profissionais da academia e da indústria para aperfeiçoamento e validação, após o que as sugestões de melhoria são avaliadas e incorporadas.

A etapa de desenvolvimento tem como objetivo a elaboração do método. Para isso, as devolutivas dos respondentes do instrumento de coleta de dados são consideradas como entrada. Com as informações em mãos, constitui-se a lógica e sequências para a construção do método em si, levando em consideração as propostas para solucionar as dificuldades bem como o nível de importância da resolução das mesmas.

Para a etapa de avaliação, visando a validação e mitigação de possíveis inconsistências no método proposto, o mesmo é submetido a um estudo de caso aplicado na indústria.

Por fim, na etapa de finalização, é apresentado o método para priorizar e propor soluções para as dificuldades inerentes à Indústria 4.0.

4. MÉTODO PARA PRIORIZAR E PROPOR SOLUÇÕES PARA AS DIFICULDADES INERENTES À INDÚSTRIA 4.0

Neste capítulo, a etapa de desenvolvimento desta pesquisa é executada, conforme apresentada na Figura 13, para concepção do método para priorizar e propor soluções para as dificuldades inerentes à Indústria 4.0, de acordo com o procedimento do *Design Science Research*.

4.1. CICLO DE RELEVÂNCIA

Para atender o primeiro ciclo do *Design Science Research* – Relevância – são apresentadas suas etapas, definindo-se o problema e o escopo de pesquisa, bem como os requisitos do método.

4.1.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA

Para definir o problema e validar a lacuna do presente estudo, foi desenvolvida uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), a fim de identificar trabalhos relacionados à implantação da Indústria 4.0 que consideram a identificação e a resolução das dificuldades inerentes.

A seleção do procedimento se deu pelo sequenciamento conciso das etapas de realização da revisão sistemática da literatura, tornando a sua execução exata e confiável. A Figura 14 ilustra a condução das etapas da RSL.

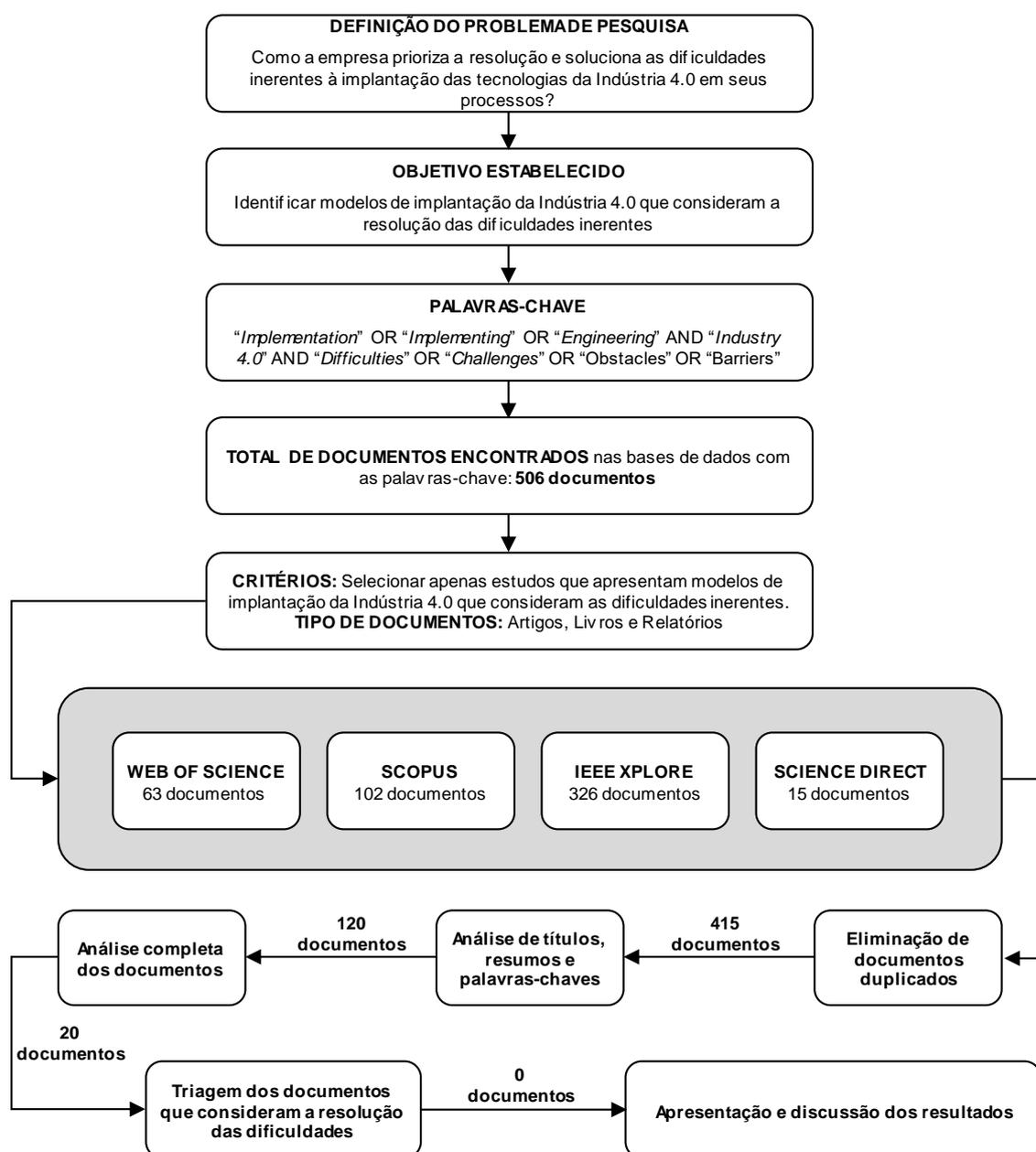


FIGURA 14 – RSL: MODELOS DE IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 CONSIDERANDO A RESOLUÇÃO DAS DIFICULDADES INERENTES

A combinação de palavras-chave utilizada foi “*Implementation*” OR “*Implementing*” OR “*Engineering*” AND “*Industry 4.0*” AND “*Difficulties*” OR “*Challenges*” OR “*Obstacles*” OR “*Barriers*”. Foram selecionadas quatro bases de dados internacionais para encontrar os periódicos, *Web Of Science*, *SCOPUS*, *IEEE Xplore* e a *Science Direct*. Para a seleção dessas bases de dados, foi considerada a facilidade de acesso a grande quantidade de títulos em diversas áreas de conhecimento, a permissão da realização de

refinamentos em resultados para seleção mais criteriosa sobre os assuntos pesquisados e a apresentação de maiores detalhes sobre os artigos selecionados. Como critérios de inclusão e exclusão, foram consideradas apenas as pesquisas científicas que abordam a implementação da Indústria 4.0 nas empresas, publicações em artigos, livros ou relatórios.

Os critérios preliminares definidos na etapa anterior são processados por meio de seis fases, de forma cíclica, para selecionar os documentos relevantes e alinhados com as problemáticas levantadas.

No final do processamento, foram selecionados 20 documentos que abordam, de forma isolada, algumas dificuldades inerentes à implantação da Indústria 4.0, conforme mostrado no Quadro 1 do Capítulo 2. Entretanto, nenhum desses documentos aborda a resolução das dificuldades, validando a lacuna existente na literatura. A apresentação e discussão dos resultados integrando os principais trabalhos evidenciados na RSL foram abordados no Capítulo 2, seção 2.3.

4.1.2. DEFINIÇÃO DO ESCOPO DA PESQUISA

Como escopo da pesquisa, destacam-se as dificuldades que as empresas enfrentam ao implantar as tecnologias da Indústria 4.0 em seus processos.

A fim de identificar essas dificuldades, foi realizada uma outra Revisão Sistemática da Literatura nos mesmos moldes da apresentada na seção 4.1.1, a qual é ilustrada pela Figura 15.

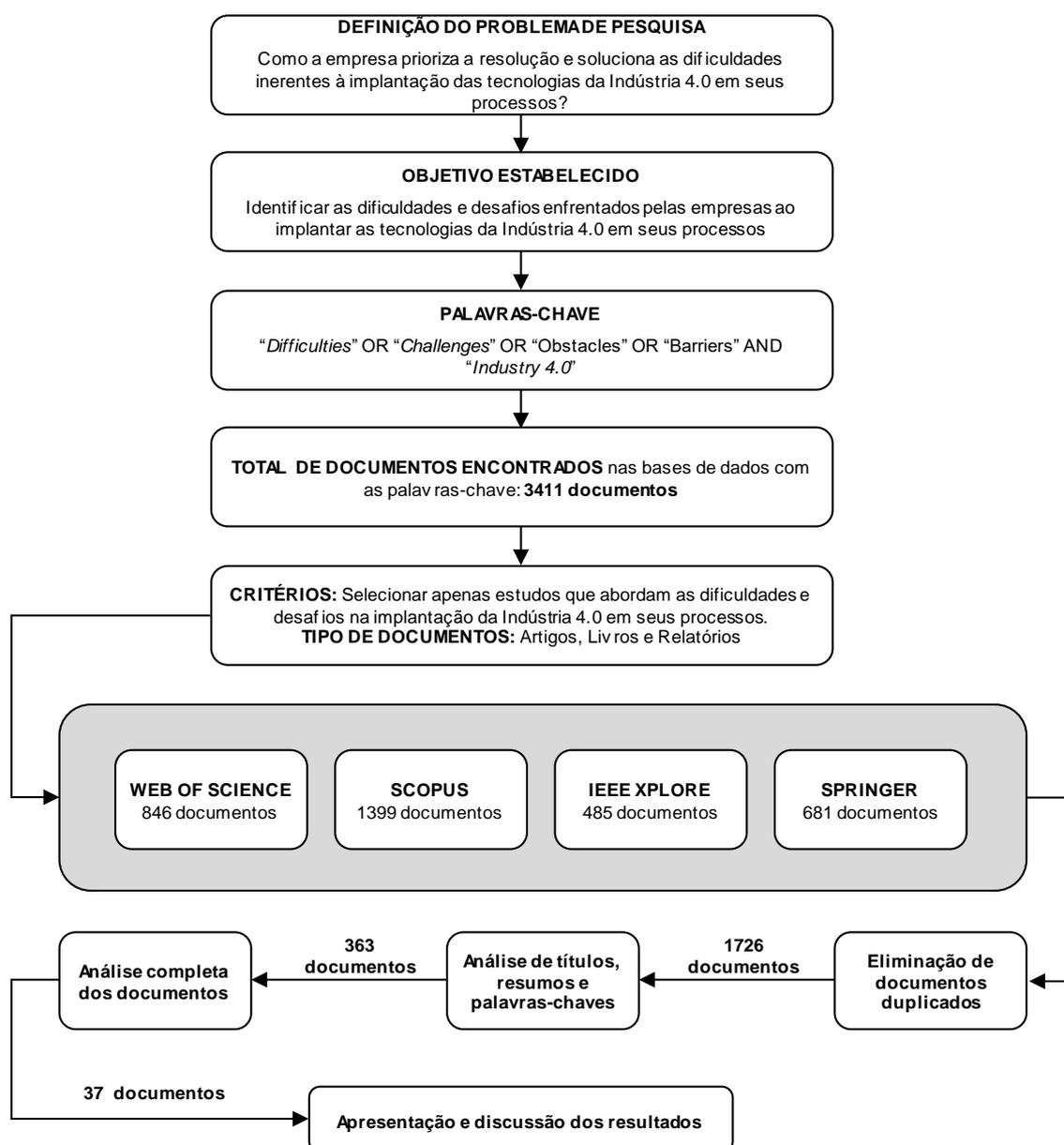


FIGURA 15 – FLUXOGRAMA DA REVISÃO DE LITERATURA: DIFICULDADES NA INDÚSTRIA 4.0

A combinação de palavras-chave utilizada foi “*Difficulties*” OR “*Challenges*” OR “*Obstacles*” OR “*Barriers*” AND “*Industry 4.0*”. Foram selecionadas quatro bases de dados internacionais para encontrar os periódicos, *Web Of Science*, *SCOPUS*, *IEEE Xplore* e a *Springer*. Como critérios de inclusão e exclusão, foram considerados apenas as pesquisas científicas que abordam as dificuldades enfrentadas pelas empresas ao implantar a Indústria 4.0, com publicações em artigos, livros ou relatórios.

No final do processamento da RSL, foram selecionados 37 documentos que estão alinhados com o objetivo estabelecido, além de fornecerem a base para a revisão da literatura desse trabalho.

Alguns estudos conduzidos destacam aquelas dificuldades que impedem as empresas localizadas em países desenvolvidos e em desenvolvimento (por exemplo, Romênia, Dinamarca, Hungria e Suécia) de obter prontidão digital (HORVÁTH e SZABÓ, 2019). As descobertas existentes afirmam que “falta de conhecimento sobre a Indústria 4.0”, “maior foco nos custos de desenvolvimento da empresa” e “falta de entendimento da importância estratégica da Indústria 4.0” são as barreiras mais importantes enfrentadas por pequenas e médias empresas na Romênia (TÜRKEŞ *et al.*, 2019). O nível de maturidade da transformação digital de uma empresa influencia a percepção dos gerentes sobre as barreiras da Indústria 4.0, de acordo com Machado *et al.* (2019), e a resistência organizacional de funcionários e níveis médios de administração provavelmente dificultará a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 em pequenas e médias empresas na Hungria (HORVATH e SZABO, 2019).

Tomando como base o resultado da RSL realizada na etapa 6, foram selecionadas as dificuldades para serem objeto desse estudo. Nos 37 principais documentos selecionados foram levantadas diversas dificuldades que se repetiam em documentos de autores diferentes, porém com nomenclaturas distintas. Como exemplo, foi levantada por Schröder (2017) como uma dificuldade “Questões legais”, assim como Müller *et al.* (2017a) identificou como dificuldade “Incerteza legal”. Nesses casos, foi considerada apenas uma dificuldade, padronizando a nomenclatura “Questões legais”. O mesmo caso ocorreu com as dificuldades “Restrições financeiras” e “Valor agregado da Indústria 4.0” destacadas por Dawson (2014) e Nicoletti (2018) respectivamente, sendo a primeira estabelecida como referência na nomenclatura para esse estudo.

Os modelos de implantação identificados no Capítulo 2, Seção 2.3 contemplam apenas parte das dificuldades mapeadas. Na RSL foram

identificadas vinte e três dificuldades frente às onze dificuldades mencionadas pelos modelos, isto é, os modelos abordam apenas 48% das dificuldades. O detalhamento das vinte e três dificuldades mapeadas na literatura são apresentadas no Capítulo 2, Seção 2.4.

Foram criados grupos para categorizar as dificuldades com o intuito de facilitar sua identificação. Os grupos são denominados por “Cultural”, “Estratégico”, “Políticas/Planos Governamentais” e “Tecnológico/Infraestrutura”, conforme Quadro 6.

QUADRO 6 – DIFICULDADES CATEGORIZADAS EM GRUPOS

CULTURAL	ESTRATÉGICO	POLÍTICAS/PLANOS GOVERNAMENTAIS	TECNOLÓGICO/INFRAESTRUTURA
Baixo apoio e dedicação da liderança no processo de implantação	Deficiência na visão e estratégia das operações digitais	Deficiência em Pesquisa e desenvolvimento (P&D)	Complexidade na análise de dados
Baixo entendimento sobre a Indústria 4.0	Falta de competência na aplicação de novos modelos de negócio	Falta de suporte e apoio governamentais	Dificuldade na aquisição de dados de automação
Crescimento Econômico baseado em mão de obra barata	Problema de coordenação e colaboração cliente-fornecedor		Dificuldade para modelar e integrar dados
Dúvidas sobre o benefício econômico dos investimentos digitais	Restrições financeiras		Falta de infraestrutura e redes baseadas na internet
Falta de cultura digital			Falta de integração de plataformas de tecnologia
Falta de Mão de Obra qualificada			Falta de padronização dos dados
Problemas com a redução de oportunidades de emprego			Má qualidade de dados existentes
Relutância ao implantar a Indústria 4.0			Problemas de Segurança dos dados
			Questões Legais

O grupo “Cultural” refere-se às dificuldades que tem como características a cultura, valores e hábitos que a empresa obtêm, gerando determinados

obstáculos. Dentro do grupo “Estratégico” estão as dificuldades inerentes às decisões estratégicas e gerenciais que ficam à cargo da empresa. Já no grupo “Políticas/Planos Governamentais” as dificuldades são relacionadas aos âmbitos político e governamental. Por fim, o grupo “Tecnológico/Infraestrutura” é composto pelas dificuldades que são intrínsecas aos dados, à falta de tecnologia ou problemas com a segurança dos dados.

4.1.3. DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS DO MÉTODO PARA PRIORIZAR E PROPOR SOLUÇÕES

Kagermann *et al.* (2013) afirmam que a jornada rumo à Indústria 4.0 exige que as empresas se esforcem para entender os conceitos e se concentrem na resolução das dificuldades que a Indústria 4.0 traz.

Grande parte das empresas não obtêm progresso devido às várias dificuldades e desafios na implementação da Indústria 4.0. Pesquisas indicam que a implementação da indústria 4.0 é um processo complexo e muitas empresas, em diferentes países, estão enfrentando problemas devido a diferentes dificuldades (DALENOGARE *et al.*, 2018). Portanto, é necessário identificar as barreiras que possam ajudar na elaboração de uma estratégia de mitigação dessas dificuldades, o que pode levar a uma adoção mais suave e assertiva da Indústria 4.0 (KAMBLE *et al.*, 2018).

Schumacher *et al.* (2016) sugerem que o primeiro passo para implantar a Indústria 4.0 em uma empresa é realizar a avaliação da maturidade da empresa com relação à quarta revolução industrial. O principal objetivo dos modelos para avaliação da maturidade existentes é capturar o estado atual de um processo ou sistema enquanto ele amadurece, isto é, atinge o objetivo pretendido.

Um dos modelos de maturidade mais utilizados e reconhecidos na literatura é o modelo da ACATECH, elaborado por Schuh *et al.* (2017). Para os autores, o objetivo do modelo de maturidade é fornecer um meio de estabelecer a atual

etapa de maturidade em Indústria 4.0 das empresas e identificar medidas concretas para ajudá-los a atingir um estágio de maturidade maior.

Baseado nessas considerações, foram definidos dois grupos conceituais-teóricos: dificuldades inerentes à implantação das tecnologias da Indústria 4.0 e modelos de maturidade da Indústria 4.0, em específico o da ACATECH, desenvolvido por Schuh *et al.* (2017).

Respaldado por esses grupos conceituais-teóricos, definem-se os requisitos do método, sendo eles:

- Selecionar o nível de Indústria 4.0 em que a empresa se encontra (avaliado previamente utilizando o modelo da ACATECH);
- Selecionar as dificuldades relacionadas ao nível da Indústria 4.0;
- Definir o nível de importância e priorizar as resoluções das dificuldades;
- Definir o índice de monitoramento da evolução das dificuldades (IMED);
- Apresentar as soluções para vencer as dificuldades.

4.2. CICLO DE RIGOR

O ciclo de rigor é o segundo a ser executado do procedimento *Design Science Research*. Neste ciclo são apresentadas as seleções dos conceitos e teorias que apoiam os grupos conceituais-teóricos definidos de acordo com os requisitos do método no ciclo de relevância.

4.2.1. SELEÇÃO DAS DIFICULDADES INERENTES À INDÚSTRIA 4.0

O mapeamento das dificuldades que as empresas enfrentam inerentes à implantação da Indústria 4.0 foi realizado por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura, conforme detalhado e discutido na seção 4.1.2.

Nos trinta e sete principais documentos selecionados como resultado da RSL foram levantadas as dificuldades que as empresas enfrentam ao implantar as tecnologias da Indústria 4.0 em seus processos. Essas dificuldades se repetem em documentos de autores diferentes, porém com nomenclaturas distintas, o que resultou em vinte e três diferentes dificuldades mapeadas, como apresentadas no Quadro 3 do Capítulo 2, Seção 2.4.

4.2.2. DEFINIÇÃO E HIERARQUIZAÇÃO DOS NÍVEIS DE IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0

Para a identificação do nível da Indústria 4.0 em que a empresa se situa, são utilizados como referência os estágios da Trajetória de Desenvolvimento da Indústria 4.0 da ACATECH (Schuh *et al.*, 2017) por ser um dos pioneiros no assunto e amplamente referenciados em pesquisas do assunto.

De acordo com o que foi explorado no Capítulo 2 – Seção 2.2, a trajetória de desenvolvimento da Indústria 4.0 (ACATECH) se baseia em seis estágios (Informatização, Conectividade, Visibilidade, Transparência, Capacidade Preditiva e Adaptabilidade). Cada estágio é dependente da consistência de implantação do estágio anterior.

Tendo como referência o esquema constituído por Schuh *et al.* (2017), os estágios de implantação da Indústria 4.0 foram hierarquizados. Neste estudo, como será visto nos capítulos seguintes, as etapas de “Informatização” e “Conectividade” são agregadas em um único nível, “Digitalização”. Sendo assim, a fim de ilustrar os níveis para implantação em que uma empresa percorre para implementar a quarta revolução industrial, foi elaborada uma pirâmide (Figura 16), a qual será uma das entradas para associar as dificuldades encontradas ao nível de implantação que a empresa se encontra.

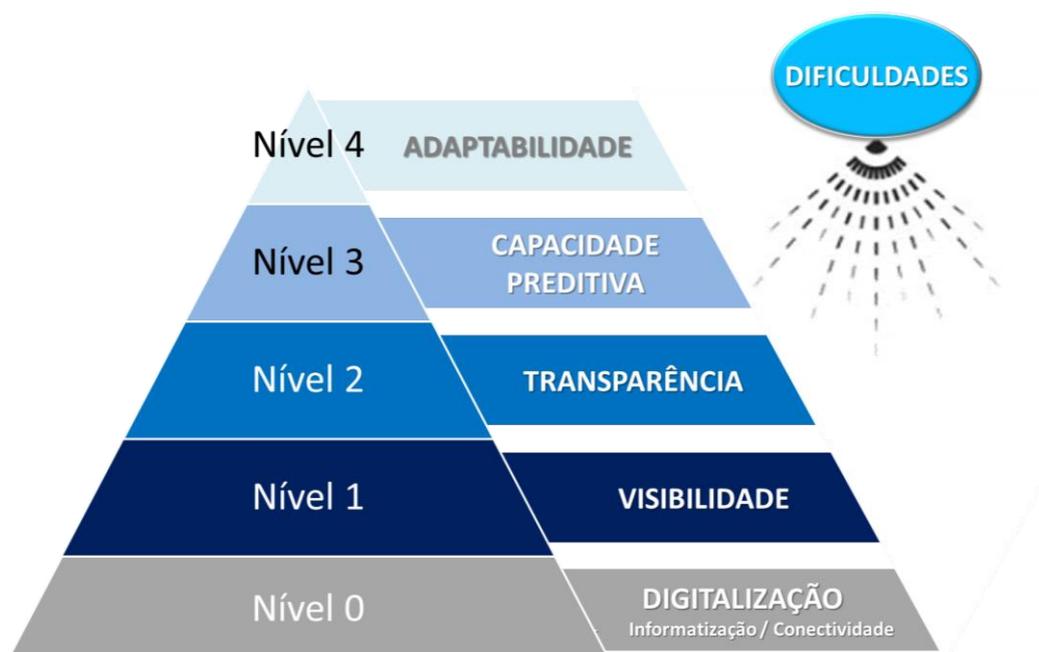


FIGURA 16 – PIRÂMIDE DOS NÍVEIS DE IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0

FONTE: BASEADO NOS ESTÁGIOS DA INDÚSTRIA 4.0 DE SCHUH ET AL. (2017)

A pirâmide inicia-se com o nível mais baixo da Indústria 4.0 (Nível 0 - Digitalização) podendo chegar no nível mais avançado (Nível 4 - Adaptabilidade). As dificuldades são pulverizadas em todos os níveis de implantação, um fator de grande importância a ser considerado por uma empresa ao implantar a Indústria 4.0, sendo o principal foco desse estudo.

A forma de pirâmide foi utilizada com o intuito de ilustrar os níveis de implantação mais avançados acima dos menos avançados e, de acordo com o avanço dos níveis, as dificuldades inerentes à implantação da Indústria 4.0 tendem a diminuir, afinando o topo da pirâmide.

4.2.3. ASSOCIAÇÃO DAS DIFICULDADES COM OS NÍVEIS DE IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0

As dificuldades e os níveis de implantação da Indústria 4.0 (ilustrados pela pirâmide, Figura 16) são associados a fim de identificar quais dificuldades estão relacionadas a cada nível, isto é, quais as dificuldades que as empresas enfrentarão dependendo do nível da Indústria 4.0 em que se situam.

Para possibilitar a associação das dificuldades com os níveis da pirâmide, tomou-se como base toda a literatura levantada para o mapeamento das dificuldades, bem como o material constituído por Schuh *et al.* (2017). É possível analisar a associação realizada no Quadro 7.

QUADRO 7 – ASSOCIAÇÃO DAS DIFICULDADES COM OS NÍVEIS DA INDÚSTRIA 4.0

	DESAFIOS / DIFICULDADES	NÍVEL DA PIRÂMIDE					REFERÊNCIAS
		0	1	2	3	4	
CULTURAL	Baixo apoio e dedicação da liderança no processo de implantação						Shamim et al. (2017)
	Baixo entendimento sobre a Indústria 4.0						Almada-Lobo (2016) Hofmann and Rüsçh (2017)
	Crescimento Econômico baseado em mão de obra barata						Dalenogare et al. (2018)
	Dúvidas sobre o benefício econômico dos investimentos digitais						Kiel et al. (2017) Marques et al. (2017)
	Falta de cultura digital						Ras et al. (2017)
	Falta de Mão de Obra qualificada						Ras et al. (2017)
	Problemas com a redução de oportunidades de emprego						Zhou et al. (2015)
	Relutância ao implantar a Indústria 4.0						Müller et al. (2017b)
ESTRATÉGICO	Deficiência na visão e estratégia das operações digitais						Erol et al. (2016)
	Falta de competência na aplicação de novos modelos de negócio						Khan et al. (2017) Saucedo-Martinez et al. (2017)
	Problema de coordenação e colaboração cliente-fornecedor						Lee et al. (2014)
	Restrições financeiras						Müller et al. (2017b)
POLÍTICAS/ PLANOS GOVERN.	Deficiência em Pesquisa e desenvolvimento (P&D)						Schmidt et al. (2015)
	Falta de suporte e apoio governamentais						BRICS Business Council (2017)
TECNOLÓGICO/ INFRAESTRUTURA	Complexidade na análise de dados						Khan et al. (2017)
	Dificuldade na aquisição de dados de automação						Khan et al. (2017)
	Dificuldade para modelar e integrar dados						Khan et al. (2017)
	Falta de infraestrutura e redes baseadas na internet						Leitão et al. (2016)
	Falta de integração de plataformas de tecnologia						Zhou et al. (2015)
	Falta de padronização dos dados						Khan et al. (2017)
	Má qualidade de dados existentes						Santos et al. (2017)
	Problemas de Segurança dos dados						Khan et al. (2017)
	Questões Legais						Schröder (2016)

As dificuldades “Baixo apoio e dedicação da gerência”, “Baixo entendimento sobre a Indústria 4.0” e “Relutância ao implantar a Indústria 4.0” estão relacionadas exclusivamente com o Nível 0. Liderança é a arte de influenciar

os outros. É inspirador, motivador e fornece as orientações para alcançar os resultados desejados. Necessita-se de apoio da liderança para iniciar qualquer tipo de projeto. A liderança apropriada de acordo com os requisitos e a situação da Indústria 4.0 pode realmente impulsionar as inovações e o aprendizado em uma organização, tanto no nível organizacional quanto no de funcionários (SHAMIM *et al.*, 2017).

Os gerentes industriais e praticantes ainda não têm certeza sobre as exatas consequências / implicações na realização dos seus objetivos (ALMADA-LOBO, 2016). Hofmann e Rüsç (2017) fizeram uma pesquisa na qual constata-se que não há definição e entendimento comumente acordados da Indústria 4.0, o que pode desencadear a rota do negócio frente à Indústria 4.0 de maneira incorreta. Portanto, se não há entendimento sobre a implicação ao traçar os objetivos, as empresas não conseguem iniciar uma jornada consistente. Além disso, para as empresas iniciarem a implantação do conceito, necessitam acreditar no potencial da quarta revolução industrial (MÜLLER *et al.*, 2017b).

Já a dificuldade “Crescimento Econômico baseado em mão de obra barata” associa-se aos cinco níveis de implantação. Para as empresas – principalmente situadas em países emergentes – como já citado, o crescimento da economia é baseado na força de trabalho de baixo custo, especialmente para atividades de manufatura, e pode desencorajar ou atrasar investimentos em automação e outras tecnologias, em todas as fases da Indústria 4.0, que geralmente são mais caras nesses países (DALENOGARE *et al.*, 2018).

“Dúvidas sobre o benefício econômico dos investimentos digitais” faz com que as empresas não invistam nas iniciativas da Indústria 4.0 (KIEL *et al.*, 2017; MARQUES *et al.*, 2017), associando essa dificuldade ao nível 0, assim como na dificuldade “Falta de cultura digital”, pelo fato de que a digitalização é o principal requisito para iniciar a Indústria 4.0 no ambiente dos negócios (RAS *et al.*, 2017).

Relacionada aos níveis 1, 2 e 3 de implantação está a dificuldade “Falta de mão de obra qualificada”. A mão de obra precisa entender os principais processos, suas dependências e desenvolver o conhecimento necessário para coletar e utilizar dados e aproveitar a digitalização na produção inteligente de produtos inteligentes com tamanhos de lote flexíveis (RAS *et al.*, 2017). “Problemas com a redução de oportunidades de emprego” está associada a todos os níveis de implantação da Indústria 4.0. As tecnologias avançadas acabam substituindo a presença de mão de obra humana nos processos da Indústria 4.0 (ZHOU *et al.*, 2016).

A dificuldade “Deficiência na visão e estratégia das operações digitais” relaciona-se ao nível 0. Erol *et al.* (2016) citam que, até agora, as empresas parecem ter dificuldades ao transformar as idéias visionárias da Indústria 4.0 em um nível missionário de aumentar a produtividade no chão de fábrica, sendo que estabelecer visão e missão do negócio é crucial para o início da implantação da quarta revolução industrial.

Para “Falta de competência na adoção/ aplicação de novos modelos de negócios” associa-se aos níveis 0, 1 e 2. O desenvolvimento de modelos de negócio não é visto como uma competência central da maioria das empresas, o que pode dificultar o desenvolvimento de novos modelos de negócio dentro da Indústria 4.0. (MÜLLER *et al.*, 2017a). A integração de vários sistemas levou os dados ao big data devido à imensa geração de dados nos processos de fabricação. A análise de big data industriais aumenta a produtividade das empresas. A previsão de novos eventos a partir de big data fornece uma base concreta para o planejamento de novos projetos (KHAN *et al.*, 2017; SAUCEDO-MARTÍNEZ *et al.*, 2017).

“Problema de coordenação e colaboração” associa-se ao nível 0, pois, de acordo com Lee *et al.* (2014), a colaboração e a transparência entre os membros são importantes para entender as políticas organizacionais adotando conceitos da Indústria 4.0 logo no início das implantações. Por outro lado, “Restrições financeiras” estão associadas a todos os níveis. Com relação à restrição financeira, a Indústria 4.0 aumenta substancialmente os

custos de uma empresa em todo o projeto, enquanto a disposição de pagar de seus clientes não aumenta proporcionalmente (MÜLLER *et al.*, 2017b).

A dificuldade “Deficiência em pesquisa e desenvolvimento (P&D)” está associada apenas ao nível 0. Segundo Schmidt *et al.* (2015) a academia pode obter melhor compreensão do uso potencial da Indústria 4.0 por meio de Pesquisa e Desenvolvimento e, portanto, adotar abordagens atuais no campo, por exemplo, inteligência de negócios e gestão do conhecimento. Os gerentes podem usar de pesquisas e desenvolvimento para uma melhor tomada de decisão, por exemplo. A pesquisa com foco científico forneceria os fundamentos teóricos necessários para o início da implantação da Indústria 4.0. Para o BRICS Business Council (2017), as políticas e diretrizes do governo são cruciais para desenvolver os negócios de uma empresa por meio da Indústria 4.0, o que justifica a associação da “Falta de suporte e apoio governamentais” também com o nível 0 de implantação.

Associa-se aos níveis 1, 2 e 3 a dificuldade “Complexidade na análise de dados”. A geração de dados heterogêneos por diferentes dispositivos físicos requer análise rápida e em tempo real durante os processos que exigem intervenção humana (KHAN *et al.*, 2017). Já a “Dificuldade na aquisição de dados de automação” é associada apenas ao nível 1, pois é uma tarefa desafiadora devido à integração de diferentes tecnologias, máquinas, sensores, sistemas físico cibernéticos (CPS), dispositivos para IoT e redes de comunicação (KHAN *et al.*, 2017). “Dificuldade para modelar e integrar dados”, Khan *et al.* (2017) diz que a integração de dados é importante para ações em tempo real, por meio da análise de *Big Data*, o que é elemento importante para o nível 2 (Transparência).

Assim como a dificuldade “Falta de infraestrutura e redes baseadas na internet”, “Falta de integração de plataformas de tecnologia” está relacionada ao nível 0. Alta infraestrutura, instalações e tecnologias baseadas em tecnologia da informação são cruciais para a adoção dos conceitos da Indústria 4.0 (LEITÃO *et al.*, 2016). É importante projetar e desenvolver uma

plataforma para integrar a tecnologia no desenvolvimento de um processo orientado pela Indústria 4.0 (ZHOU *et al.*, 2015).

“Falta de padronização dos dados” é uma dificuldade que está associada a todos os níveis de implantação da Indústria 4.0. Para a comunicação entre processos, os dados devem estar no mesmo formato o qual necessita de transformação e limpeza de dados em diferentes situações. Os dados precisam ser convertidos em formulários visuais para operadores de máquinas, de modo que eles controlem remotamente, de forma *on-line*, as máquinas robóticas. O uso de tecnologia inteligente na Indústria 4.0 precisa transformar os dados em diferentes formatos compatíveis com dispositivos inteligentes. Manter todos esses dados antes e depois da transformação é um desafio para o setor 4.0 (KHAN *et al.*, 2017).

“Má qualidade dos dados existentes” é associada ao nível 2, pois, segundo Santos *et al.* (2017), a qualidade dos dados é um dos principais requisitos para a tomada de decisões, que por sua vez é resultado de uma análise de dados consistente.

No que diz respeito a “Problemas de Segurança”, a associação é feita com o nível 1, pois a segurança e privacidade são as duas principais preocupações no mundo do *Big Data*. O volume crescente de dados heterogêneos na Indústria 4.0 e a transferência de todos os dados para a nuvem, quando toda organização pode ser vista, aumentam o risco de segurança (KHAN *et al.*, 2017). Da mesma forma, “Questões legais” relaciona-se com o nível 1. Claramente, existe uma grande preocupação de que os dados confidenciais da empresa não sejam realmente seguros na nuvem e possam ser acessados por terceiros no momento em que os dados, principalmente os confidenciais, ficam visíveis, de modo que possa obter o roubo de dados e informações para os concorrentes, por exemplo (SCHRÖDER, 2016).

4.3. CICLO DE PROJETO

O ciclo de projeto é o terceiro e mais importante a ser executado de acordo com a *Design Science Research*, além de ser o mais complexo. Como suporte a esse ciclo, utiliza-se as definições evidenciadas nos ciclos de relevância e rigor, seguindo as cinco etapas demonstradas no desenvolvimento da pesquisa (Figura 13) e tem o objetivo de construir o método proposto.

4.3.1. ETAPA DE CONSCIENTIZAÇÃO

A etapa de conscientização tem o intuito de estabelecer as variáveis do método a fim de atender aos requisitos apresentados na Seção 4.1.3.

4.3.1.1. DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA

Como variáveis de entrada, para atender aos dois primeiros requisitos estabelecidos (Selecionar o nível de Indústria 4.0 em que a empresa se encontra; e Selecionar as dificuldades relacionadas ao nível da Indústria 4.0), necessita-se executar três atividades prévias: Mapear as dificuldades; Hierarquizar os níveis de implantação; e Associar as dificuldades mapeadas com os níveis de implantação. Essas atividades foram desenvolvidas, respectivamente, nas seções 4.1.2, 4.2.2 e 4.2.3.

Assim, como variáveis de entrada, adota-se as dificuldades inerentes à implantação da Indústria 4.0, o índice de avaliação de maturidade da Indústria 4.0, tendo como referência o documento da ACATECH desenvolvido por Schuh *et al.* (2017) (organizado e ilustrado na Figura 6), e também a associação de cada dificuldade ao níveis de implantação da Indústria 4.0.

As dificuldades associadas a cada nível da Indústria 4.0 estão estabelecidas no Quadro 8.

QUADRO 8 – DIFICULDADES POR NÍVEL DA PIRÂMIDE

NÍVEL 0 DIGITALIZAÇÃO (Informatização e Conectividade)	NÍVEL 1 VISIBILIDADE	NÍVEL 2 TRANSPARÊNCIA	NÍVEL 3 CAPACIDADE PREDITIVA	NÍVEL 4 ADAPTABILIDADE
Baixo apoio e dedicação da liderança no processo de implantação	Crescimento Econômico baseado em mão de obra barata	Crescimento Econômico baseado em mão de obra barata	Crescimento Econômico baseado em mão de obra barata	Crescimento Econômico baseado em mão de obra barata
Baixo entendimento sobre a Indústria 4.0	Falta de Mão de Obra qualificada	Falta de Mão de Obra qualificada	Falta de Mão de Obra qualificada	Redução de oportunidades de emprego
Crescimento Econômico baseado em mão de obra barata	Redução de oportunidades de emprego	Redução de oportunidades de emprego	Redução de oportunidades de emprego	Restrições financeiras
Dúvidas sobre o benefício econômico dos investimentos digitais	Falta de competência na aplicação de novos modelos de negócio	Falta de competência na aplicação de novos modelos de negócio	Restrições financeiras	Falta de padronização dos dados
Falta de cultura digital	Restrições financeiras	Restrições financeiras	Complexidade na análise de dados	
Problemas com a redução de oportunidades de emprego	Complexidade na análise de dados	Complexidade na análise de dados	Falta de padronização dos dados	
Relutância ao implantar a Indústria 4.0	Dificuldade na aquisição de dados de automação	Dificuldade para modelar e integrar dados		
Deficiência na visão e estratégia das operações digitais	Falta de padronização dos dados	Falta de padronização dos dados		
Falta de competência na aplicação de novos modelos de negócios	Problemas de Segurança dos dados	Má qualidade de dados existentes		
Problema de coordenação e colaboração cliente-fornecedor	Questões Legais			
Restrições financeiras				
Deficiência em Pesquisa e desenvolvimento (P&D)				
Falta de suporte e apoio governamentais				
Falta de infraestrutura e redes baseadas na internet				
Falta de integração de plataformas de tecnologia				
Falta de padronização dos dados				

O Nível 0 “Digitalização (Informatização e Conectividade)” contempla dezesseis dificuldades; No Nível 1 “Visibilidade”, dez é o número de dificuldades; Para o Nível 2 “Transparência”, são listadas nove dificuldades; Já no Nível 3 “Capacidade Preditiva” são relacionadas seis dificuldades. Por fim, no Nível 4 “Adaptabilidade”, o número de dificuldades é reduzido a quatro. Com essa análise pode-se concluir que quanto menor é o nível de uma empresa nos conceitos da Indústria 4.0 maior é a quantidade de dificuldades por ela enfrentada. Por outro lado, quanto mais desenvolvida a empresa estiver nos níveis da Indústria 4.0, menos dificuldades a empresa necessitará superar.

Pode ocorrer da mesma dificuldade estar presente em diferentes níveis de implantação. Isso acontece pelo fato de a mesma dificuldade aumentar sua complexidade de acordo com o avanço dos níveis (como por exemplo a quantidade de informações a serem analisadas, nível de detalhe requerido, entre outros). Portanto, a nomenclatura da dificuldade é a mesma, porém, sua complexidade se altera.

Por fim, ainda como variável de entrada, define-se o nível de importância da resolução das dificuldades. Essa variável será detalhada nas Seções 4.3.2.1, quanto à solicitação aos profissionais da indústria e da academia, e na seção 4.3.3, quanto à contribuição no desenvolvimento do método para priorizar e propor soluções. Ela é de suma importância para atender parte do requisito estabelecido “Definir o nível de importância e priorizar as resoluções das dificuldades”.

4.3.1.2. DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE SAÍDA

Como variáveis de saída, isto é, as informações que se espera obter ao executar o método, adota-se o nível de importância e priorização da resolução das dificuldades; o índice de monitoramento da evolução das dificuldades; e as soluções para vencer as dificuldades, obtidas por meio da literatura e de profissionais da indústria e da academia (a serem discutidos nas Seções 4.3.2

e 4.3.3). Sendo assim, todos os requisitos estabelecidos no ciclo de relevância do método (Seção 4.1.3) são atendidos.

4.3.2. ETAPA DE SUGESTÃO

A etapa de sugestão é baseada nas definições da etapa de conscientização e tem o propósito de elaborar um instrumento de coleta de dados, além de submetê-lo à análise e validação de profissionais da indústria e da academia.

4.3.2.1. ELABORAÇÃO DO INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS

Para a coleta de dados, foi elaborado um instrumento fundamentado nas variáveis de entrada e premissas para a obtenção das variáveis de saída, conforme ilustra a Figura 17.

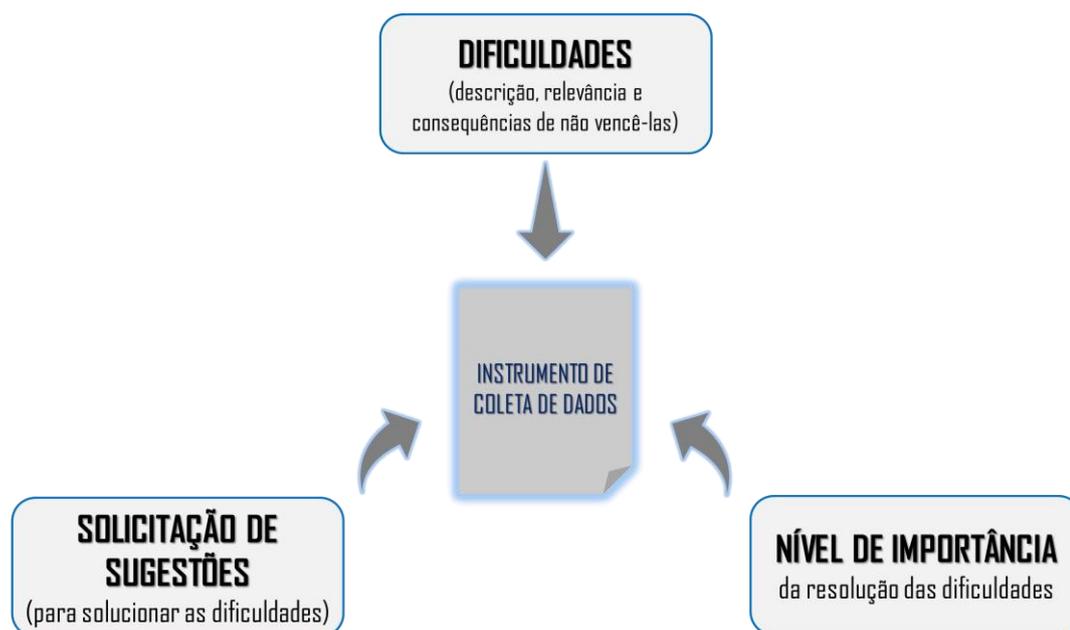


FIGURA 17 – ELEMENTOS PARA CONSTRUÇÃO DO INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS

O conteúdo do instrumento de coleta de dados foi baseado no detalhamento das dificuldades apresentado no Capítulo 2, Seção 2.4, sendo divididos em três seções:

- Caracterização da empresa: onde os dados inerentes à identificação da empresa são solicitados, tais como nome da empresa, segmento de atuação, tempo de atuação da empresa no mercado (em anos) e número de funcionários;
- Qualificação do respondente: esta seção diz respeito aos dados para identificação do profissional que está respondendo o instrumento de coleta de dados, solicitando o nome do respondente, departamento de atuação na empresa, cargo, formação acadêmica e o tempo de atuação na empresa do respondente (em anos).
- Dificuldades inerentes à implantação da Indústria 4.0: as dificuldades são apresentadas aos respondentes de acordo com os grupos categorizados como “CULTURAL”, “ESTRATÉGICO”, “POLÍTICAS/PLANOS GOVERNAMENTAIS” e “TECNOLÓGICO/INFRAESTRUTURA”. Em cada uma das dificuldades são apresentadas a descrição, relevância e consequências de não vencê-las. Adicionalmente, solicita-se que os respondentes indiquem sugestões para solucionar as dificuldades e o nível de importância da resolução de cada dificuldade, classificado como “baixo”, “médio” ou “alto”.

4.3.2.2. ANÁLISE E VALIDAÇÃO POR PROFISSIONAIS DA INDÚSTRIA E DA ACADEMIA

O instrumento de coleta de dados, em sua primeira versão, é submetido para análise e validação de profissionais da indústria e da academia.

A análise e validação realizadas por profissionais de campo é uma etapa importante a se considerar, pois, por meio dela, é possível obter e entender situações em contextos que não foram manifestados anteriormente pelas suposições do pesquisador.

Para este trabalho, considera-se uma estrutura de quatro itens para determinação das análises e validação dos profissionais de campo:

- a) definição do objetivo da análise;

- b) seleção da amostra de profissionais de campo;
- c) definição do formato da análise;
- d) apresentação das recomendações dos profissionais de campo.

Sendo assim, o objetivo da análise e validação é de compreender a visão de campo sobre a clareza, compreensão e factibilidade do instrumento de coleta de dados levando em consideração as informações nele contidas.

Quanto à seleção dos profissionais, foram levadas em consideração a familiaridade com assunto e similaridade de interesse dos futuros respondentes e usuários do método proposto. Foram selecionados cinco profissionais por conveniência e disponibilidade. São eles:

- um pesquisador da área de Indústria 4.0, engenharia de processos e produto com diversas publicações e parcerias internacionais;
- um pesquisador da área de logística, gestão da cadeia de suprimentos e Indústria 4.0 internacionalmente reconhecido por suas publicações;
- um pesquisador da área de Tecnologia da Informação com vasto número de publicações;
- um Gerente de Engenharia de Manufatura de um fabricante multinacional de equipamentos agrícolas com mais de 20 anos de experiência;
- um Gerente de Inovação e Tecnologia de uma fabricante multinacional de componentes automotivos com 10 anos de atuação na indústria.

Tanto com os pesquisadores (profissionais da academia) quanto com os profissionais da indústria, realizaram-se reuniões de pequenos grupos onde foram apresentadas e detalhadas as informações contidas no instrumento de coleta de dados, solicitando análises e contribuições a fim de obter a validação do documento de pesquisa.

As recomendações realizadas pelos profissionais de campo foram relacionadas com a/o:

- Organização das dificuldades: foi proposto que as dificuldades fossem organizadas de acordo com os grupos em que foram categorizadas no estudo (Quadro 6) de forma a facilitar o direcionamento do respondente ao tema específico de sua atuação;
- Devolução do instrumento de coleta de dados com ausência de respostas: a proposta dos profissionais se baseou em deixar claro que o instrumento de coleta de dados poderia ser devolvido ao pesquisador contendo dificuldades que não apresentasse sugestões para superação, não limitando quantidade mínima do número de respostas dadas pelo respondente;
- Vínculo à empresa em que atua: os profissionais propuseram que fosse esclarecido o fato de as respostas não necessitarem de terem vínculo com a empresa em que os respondentes atuam, pois, alguns profissionais poderiam ficar receosos em divulgar dados estratégicos da empresa.

Após os ajustes sugeridos pelos profissionais e a validação do conteúdo restante visando maior assertividade na comunicação com os respondentes, foi possível a conclusão da versão final do Instrumento de Coleta de Dados, o qual está disponível no APÊNDICE I.

4.3.2.3. PESQUISA DE CAMPO

Conforme mencionado no Capítulo 3, Seção 3.2.2.3, o procedimento utilizado para obter as soluções para as dificuldades é a Pesquisa de Campo exploratória que compreende o método de levantamento de experiências.

De acordo com Mattar (1996), para se obter rapidez e economia no processo de levantamento de experiências é necessária uma escolha cuidadosa das pessoas a serem pesquisadas. É considerado como perda de tempo esperar respostas de pessoas com pouca experiência e conhecimento ou que tenham

dificuldades em comunicar suas experiências. Apesar de não haver preocupações com a representatividade, é interessante considerar pessoas que possuam diferentes experiências para que se tenha uma visão ampla e com diferentes pontos de vista sobre o problema em estudo (MATTAR, 1996).

Sendo assim, o instrumento de coleta de dados foi enviado por *e-mail* para 237 profissionais, sendo eles oito da academia e 229 da indústria, incluindo nove de consultorias e três de *startups*. Quanto aos profissionais da indústria, pertencentes à rede social profissional do pesquisador, bem como indicações de associações e confederações industriais. Quanto aos profissionais da academia, vinculados à universidade cujo pesquisador pertence, bem como instituições de ensino com as quais o pesquisador tenha trabalhado em parcerias em determinados momentos da carreira profissional. Todos os profissionais contatados tem ou já tiveram vínculo com o tema “Indústria 4.0” em suas carreiras.

O prazo estabelecido para a devolução das respostas foi de trinta dias, a contar da data de envio. Depois de quinze dias, caso não houvesse resposta de determinados profissionais, um novo *e-mail* era enviado reforçando a importância da contribuição para a pesquisa.

4.3.3. ETAPA DE DESENVOLVIMENTO

A etapa de desenvolvimento do ciclo de projeto é baseada no que foi definido na etapa de sugestão e tem como objetivo definir a construção do método.

Para completar a aplicação do método proposto, algumas etapas precisam ser praticadas algumas etapas. O desenvolvimento de cada etapa é mostrado nas seções a seguir.

4.3.3.1. AVALIAR O NÍVEL DA INDÚSTRIA 4.0

Para aplicar as etapas do método, é preciso tomar como premissa o nível de evolução da empresa, isto é, se a empresa está mais avançada nos quesitos

da Indústria 4.0, se ainda está nas fases iniciais ou ainda na pretensão de iniciar a implantação.

Como uma das variáveis de entrada do método é o nível da Indústria 4.0 que a empresa se encontra, utiliza-se o Índice de Maturidade da ACATECH, elaborado por Schuh *et al.* (2017). Nesta etapa do método, recomenda-se que a empresa avalie seu próprio nível de implantação, utilizando o modelo abordado no Capítulo 2, Seção 2.2.

A avaliação do índice de maturidade tem como resultado o nível da Indústria 4.0 que a empresa se encontra, os quais foram ilustrados na Figura 16 (Pirâmide dos níveis de implantação da Indústria 4.0) – Nível 0: Digitalização (Informatização/Conectividade); Nível 1: Visibilidade; Nível 2: Transparência; Nível 3: Capacidade Preditiva; Nível 4: Adaptabilidade.

Como a avaliação do nível da Indústria 4.0 é uma das etapas do método proposto, é importante considerá-lo, entretanto, não é objetivo deste estudo mostrar como funciona o Índice de Maturidade da ACATECH. Sua aplicação é considerada autoexplicativa, não apresentando dificuldades em seu conteúdo.

O Índice de Avaliação de Maturidade da Indústria 4.0 da ACATECH pode ser acessado de forma *online*, por meio do endereço: https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech_STUDIE_Maturity_Index_eng_WEB.pdf.

4.3.3.2. ANALISAR AS DIFICULDADES ASSOCIADAS AO NÍVEL DA INDÚSTRIA 4.0

Nesta etapa do método é analisada a associação das dificuldades mapeadas com os níveis da indústria 4.0 estabelecidos.

Do total de dificuldades identificadas por nível, conforme apresentadas no Quadro 8, foi analisada a frequência de ocorrência das dificuldades de cada grupo em relação aos níveis de implantação da Indústria 4.0, o que pode ser verificada por meio do Quadro 9.

QUADRO 9 – FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DAS DIFICULDADES RELACIONADAS AOS NÍVEIS DA INDÚSTRIA 4.0

	NÍVEL 0 DIGITALIZAÇÃO (Informatização / Conectividade)		NÍVEL 1 VISIBILIDADE		NÍVEL 2 TRANSPARÊNCIA		NÍVEL 3 CAPACIDADE PREDITIVA		NÍVEL 4 ADAPTABILIDADE	
	Nº dificuldades	%	Nº dificuldades	%	Nº dificuldades	%	Nº dificuldades	%	Nº dificuldades	%
CULTURAL	7	43,8%	3	30,0%	3	33,3%	3	50,0%	2	50,0%
ESTRATÉGICO	4	25,0%	2	20,0%	2	22,2%	1	16,7%	1	25,0%
POLÍTICAS/ PLANOS GOVERNAMENTAIS	2	12,5%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
TECNOLÓGICO/ INFRAESTRUTURA	3	18,8%	5	50,0%	4	44,4%	2	33,3%	1	25,0%
	16	100%	10	100%	9	100%	6	100%	4	100%

Com relação ao Nível 0 – Digitalização (total de 16 dificuldades), os grupos que tem maior frequência de ocorrência (somando 68,8%) são “Cultural”, com 43,8%, e “Estratégico”, com 25,0% das dificuldades, seguidos dos grupos “Tecnológico/Infraestrutura” e “Políticas/ Planos Governamentais”, com 18,8% e 12,5% respectivamente.

Já para o Nível 1 – Visibilidade (total de 10 dificuldades) a proporção ocorre de maneira diferente. As categorias com maior frequência de ocorrência são os grupos “Tecnológico/Infraestrutura” (50,0%) e “Cultural” (30,0%). O grupo “Estratégico”, com 20,0% das dificuldades é seguido pelo grupo “Políticas/ Planos Governamentais”, que não apresenta dificuldades inerentes.

No Nível 2 – Transparência (total de 9 dificuldades) as dificuldades relacionadas ao grupo “Tecnológico/Infraestrutura” têm maior frequência de ocorrência, resultando 44,4% das dificuldades. O grupo “Cultural” e “Estratégico” seguem com 33,3% e 22,2% das dificuldades, respectivamente.

Analisando o Nível 3 – Capacidade Preditiva (total de 6 dificuldades), observa-se que o grupo “Cultural” é o mais frequente (50,0%), seguido pelo grupo “Tecnológico/Infraestrutura”, que obtém 33,3% das dificuldades, restando 16,7% os quais relaciona-se ao grupo “Estratégico”.

Por fim, no Nível 4 – Adaptabilidade (total de 10 dificuldades), 50,0% das dificuldades estão relacionadas a questões Culturais, seguidas das dificuldades categorizadas nos grupos “Estratégico” e “Tecnológico/Infraestrutura”, completando os demais 50,0%, com 25,0% cada.

De maneira geral, percebe-se que a categoria de dificuldades “Cultural” ocorre de forma mais frequente, prevalecendo nos níveis 0 (Digitalização), 3 (Capacidade Preditiva) e 4 (Adaptabilidade). O segundo grupo de categorias com maior frequência de ocorrência entre os níveis é o “Tecnológico/Infraestrutura”, liderando nos níveis de implantação 1 e 2 (Visibilidade e Transparência, respectivamente). Observa-se também que dificuldades inerentes ao grupo “Políticas/ Planos Governamentais” não são impactantes entre os níveis 1 (Visibilidade), 2 (Transparência), 3 (Capacidade Preditiva) e 4 (Adaptabilidade), ocorrendo apenas no nível 0 (Digitalização).

4.3.3.3. ANÁLISE DAS DEVOLUTIVAS DO INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS PELOS PROFISSIONAIS

Como já mencionado, o instrumento de coleta de dados foi submetido a 237 profissionais da indústria e da academia. Segundo Mattar (1996), o número de amostras a ser retornado não é definido, e deverão ser consideradas tantas quantas forem necessárias. A partir do momento em que se percebe que novas amostras não estão mais trazendo contribuições significativas para ampliar a compreensão do assunto, é chegado o momento de suspender os envios.

Sendo assim, obteve-se retorno de 58 respondentes. Como citado na Seção 4.3.2.1, foi solicitado que fossem preenchidas informações pertinentes à caracterização da empresa em que atuam, bem como a qualificação. As devolutivas, considerando esses dois grupos de informações, serão discutidas na sequência.

a) Caracterização da empresa

Quanto à caracterização da empresa, foi solicitado que os respondentes informassem o nome, segmento de atuação e o tempo de atuação da empresa no mercado (em anos), além do número de funcionários. Conforme mencionado na carta de apresentação do instrumento de coleta de dados, o nome da empresa será mantido em sigilo, portanto, não haverá estratificação dos resultados para esta informação.

No que diz respeito ao segmento de atuação da empresa dos respondentes (Figura 18), dos 58 respondentes, o segmento automotivo lidera com 24 respondentes, seguido de montadoras de equipamentos (10 respondentes) e da Construção Civil, com 8 respondentes. Cinco respondentes estão relacionados ao segmento de ensino, cinco de diversos segmentos (não sendo limitado a um único segmento). Por fim, no segmento de tecnologia houve 3 respondentes e apenas 1 respondente para cada segmento, de mineração, sucroalcooleiro e papel e celulose.

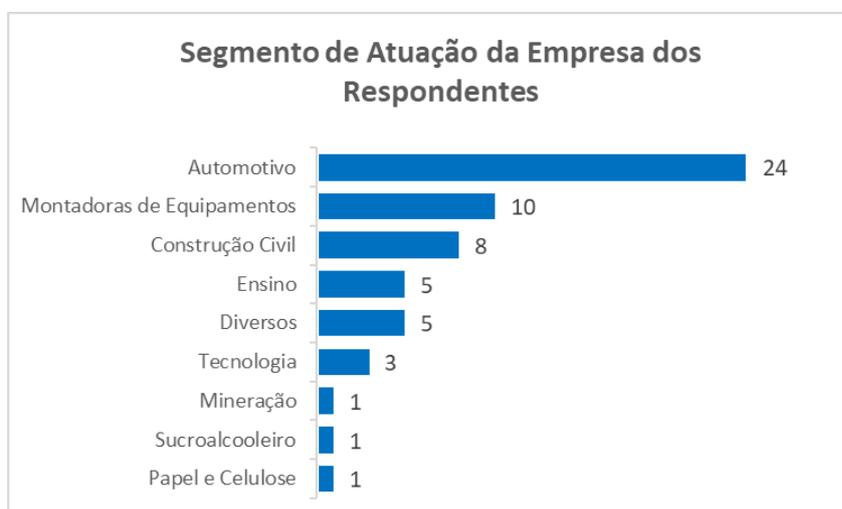


FIGURA 18 – SEGMENTOS DE ATUAÇÃO DAS EMPRESAS DOS RESPONDENTES

Quanto ao tempo de atuação da empresa no mercado, percebe-se na Figura 19 que a maioria das empresas tem o tempo de atuação no mercado entre 11 e 50 anos (59%), seguidas das empresas com o tempo de atuação entre 51 e 100 anos (com 24% dos respondentes). As empresas que vêm atuando no

mercado por mais de 100 anos representam 14% dos respondentes, restando 3% equivalentes às empresas de até 10 anos de atuação.

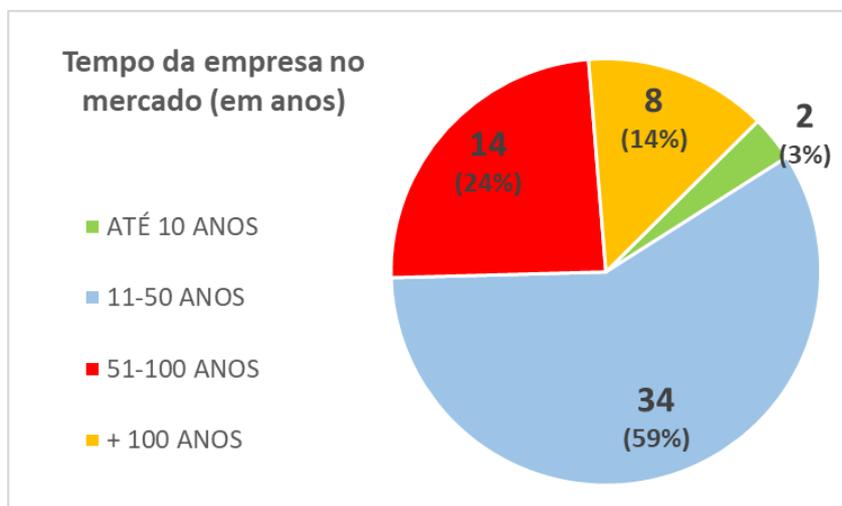


FIGURA 19 – TEMPO DA EMPRESA NO MERCADO (EM ANOS)

Por fim, a Figura 20 refere-se ao número de funcionários das empresas cujos respondentes pertencem, 52% são de grande porte, contendo mais de 500 funcionários. As empresas que contém entre 100 a 499 funcionários (médio porte) representam 34% dos respondentes, seguidas das empresas de pequeno porte (de 20 a 99 funcionários, que somam 9%. As microempresas, com número de até 19 funcionários, contabilizam 5% dos respondentes do instrumento de coleta de dados.

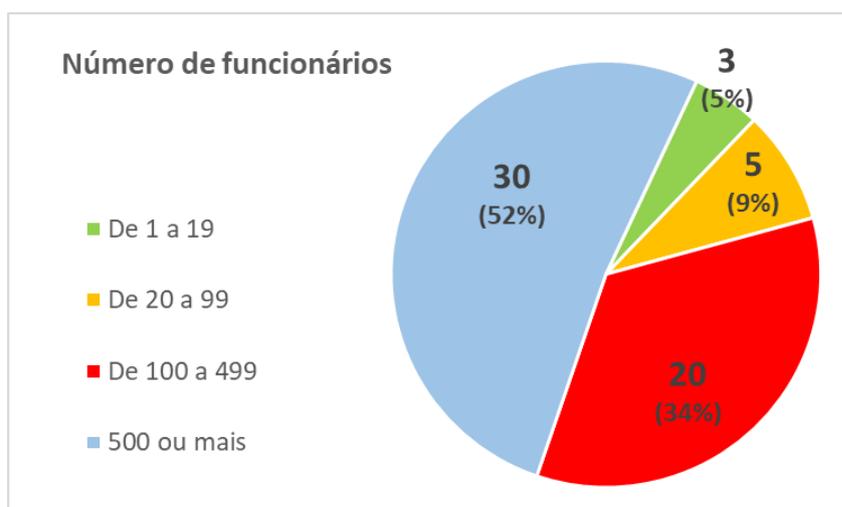


FIGURA 20 – NÚMERO DE FUNCIONÁRIOS DAS EMPRESAS DOS RESPONDENTES

A classificação do porte das empresas foi realizada de acordo com os dados divulgados pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE, 2013).

b) Qualificação do respondente

No instrumento de coleta de dados foi solicitado que o respondente mencionasse informações inerentes à sua qualificação, sendo elas: o nome do respondente, o departamento e o cargo que exerce na empresa, bem como a formação e o tempo de atuação na empresa. Conforme mencionado na carta de apresentação do instrumento de coleta de dados, a identificação do nome do respondente também será mantida em sigilo, impossibilitando a estratificação dos resultados desta informação.

Com relação ao departamento em que os respondentes executam suas funções, dezessete respondentes trabalham no departamento de Tecnologia da informação, doze no departamento de Engenharia de Processos. A área da Qualidade é representada por sete respondentes. Para a Academia e Apoio/Suporte, cinco respondentes de cada departamento retornaram a pesquisa, seguidos de Melhoria Contínua e Inovação com três respondentes em cada departamento. Os departamentos de Diretoria e Logística são representados por dois respondentes cada. Por fim, os departamentos de Manufatura e Comercial são representados com um respondente para cada. A Figura 21 demonstra o resultado.



FIGURA 21 – NÚMERO DE FUNCIONÁRIOS DAS EMPRESAS DOS RESPONDENTES

No que tange ao cargo que os respondentes ocupam (Figura 22), 45% são gerentes ou acima, 22% supervisores, 19% técnicos/ analistas, 9% são pesquisadores e 5% são consultores.

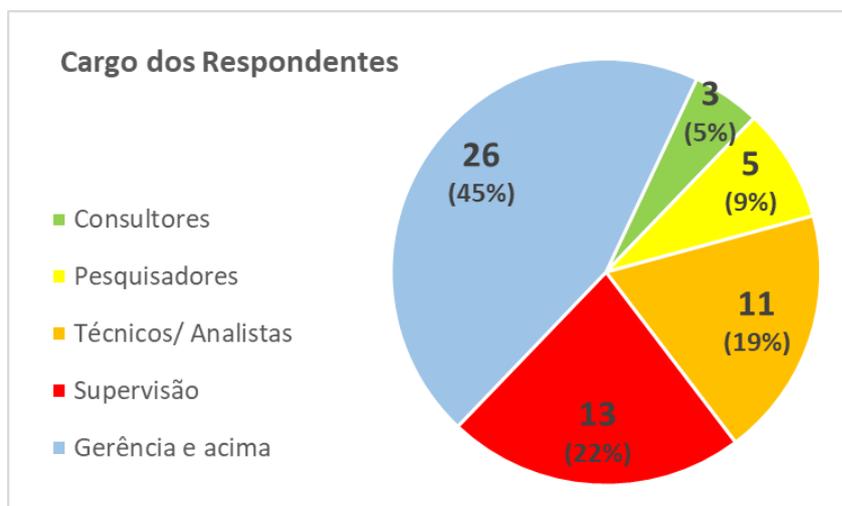


FIGURA 22 – CARGO OCUPADO PELOS RESPONDENTES

Quanto à formação acadêmica dos respondentes (Figura 23), percebe-se a predominância das Engenharias, sendo que, dos 58 respondentes, vinte e um são engenheiros de produção, oito engenheiros mecânicos, quatro engenheiros eletricitas e quatro engenheiros de automação. Além disso, quinze respondentes são analistas de sistemas por formação, quatro cientistas de dados, um economista e um administrador.

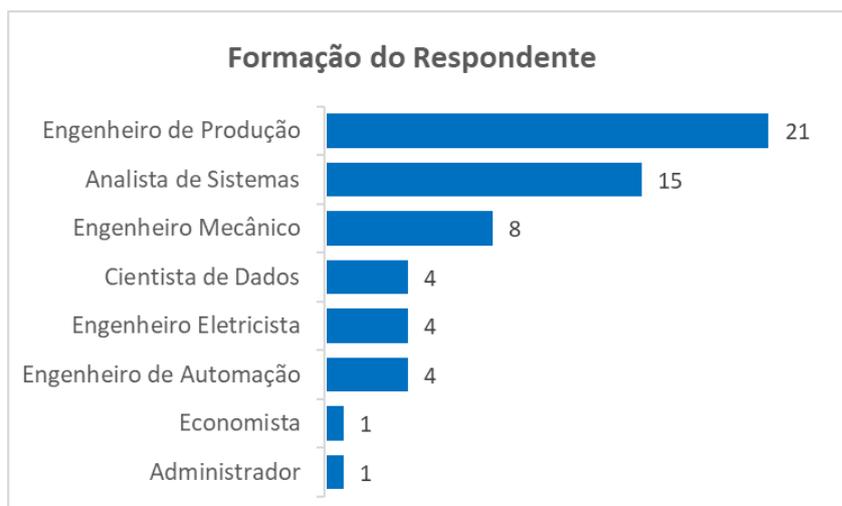


FIGURA 23 – FORMAÇÃO DOS RESPONDENTES

Por fim, no que diz respeito ao tempo de atuação dos respondentes nas empresas (Figura 24), 33% deles atuam na empresa entre seis e dez anos, 24% entre onze e quinze anos, 24% atuam entre um e cinco e 19% estão na empresa por períodos superiores a dezesseis anos.

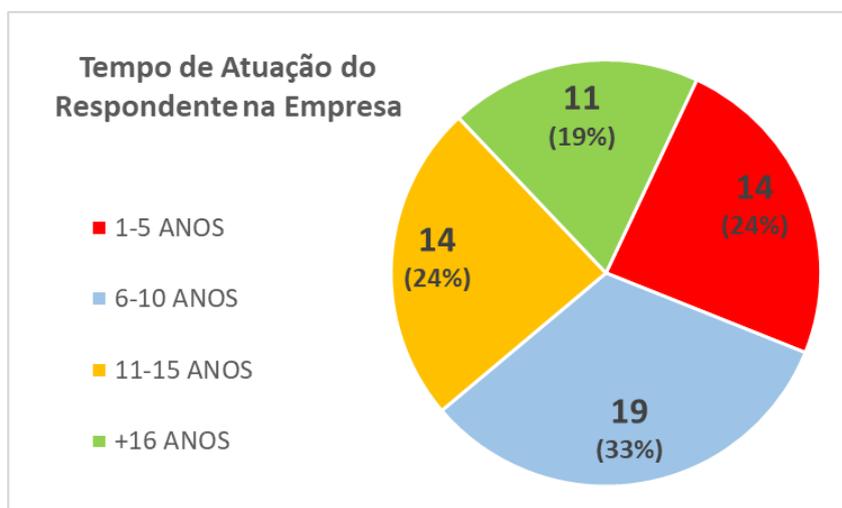


FIGURA 24 – TEMPO DE ATUAÇÃO DOS RESPONDENTES NAS EMPRESAS

4.3.3.4. CONSTRUÇÃO DA FERRAMENTA PARA DEFINIR O NÍVEL DE PRIORIZAÇÃO DA DIFICULDADE

Por meio do *software* MS Excel®, foi desenvolvida uma ferramenta para auxiliar as empresas a definirem a priorização da resolução das dificuldades enfrentadas de acordo com o nível da Indústria 4.0 em que se encontram.

Essa ferramenta consiste em um *template* onde elenca-se todas as dificuldades inerentes ao nível da Indústria 4.0 resultantes da avaliação pela empresa. Com isso, para cada dificuldade, são estabelecidos pesos para priorização. Esses pesos são compostos por duas variáveis: a) nível de importância da resolução de cada dificuldade; e b) frequência de ocorrência do grupo de dificuldades, conforme detalhados a seguir.

a) nível de importância da resolução de cada dificuldade:

Essa variável é resultado de uma das solicitações realizadas aos profissionais de campo por meio do instrumento de coleta de dados. Os respondentes apontaram qual o nível de importância da resolução de cada dificuldade, classificado como “baixo”, “médio” ou “alto”.

Sendo assim, o peso considerado nesta variável, para cada dificuldade, foi o que apresentou maior representatividade dentre a opinião dos respondentes. Para as dificuldades que obtiveram como classificação do nível de importância de resolução como “baixo”, foi estabelecido peso “1”. Para as dificuldades cujo nível de importância de resolução tenha sido classificado como “médio”, definiu-se como peso “2”. Por fim, foi firmado como peso “3” todas aquelas dificuldades classificadas como nível de importância de resolução “alto”.

O resultado da classificação do nível de importância da resolução das dificuldades e os respectivos pesos podem ser analisados a partir do Quadro 10.

QUADRO 10 – CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE IMPORTÂNCIA DA RESOLUÇÃO DAS DIFICULDADES (PELOS RESPONDENTES)

	DESAFIOS / DIFICULDADES	NÍVEL DE IMPORTÂNCIA DA RESOLUÇÃO			
		BAIXO (1)	MÉDIO (2)	ALTO (3)	NÍVEL CONSIDERADO
CULTURAL	Baixo apoio e dedicação da liderança no processo de implantação	6	17	35	ALTO (3)
	Baixo entendimento sobre a Indústria 4.0	0	13	45	ALTO (3)
	Crescimento Econômico baseado em mão de obra barata	27	16	15	BAIXO (1)
	Dúvidas sobre o benefício econômico dos investimentos digitais	15	17	26	ALTO (3)
	Falta de cultura digital	12	29	17	MÉDIO (2)
	Falta de Mão de Obra qualificada	9	28	21	MÉDIO (2)
	Problemas com a redução de oportunidades de emprego	41	17	0	BAIXO (1)
	Relutância ao implantar a Indústria 4.0	18	29	11	MÉDIO (2)
ESTRATÉGICO	Deficiência na visão e estratégia das operações digitais	19	39	0	MÉDIO (2)
	Falta de competência na aplicação de novos modelos de negócio	12	46	0	MÉDIO (2)
	Problema de coordenação e colaboração cliente-fornecedor	31	27	0	BAIXO (1)
	Restrições financeiras	0	9	49	ALTO (3)
POL./ PLAN. GOV.	Deficiência em Pesquisa e desenvolvimento (P&D)	10	22	26	ALTO (3)
	Falta de suporte e apoio governamentais	23	24	11	MÉDIO (2)
TECNOLÓGICO/ INFRAESTRUTURA	Complexidade na análise de dados	3	30	25	MÉDIO (2)
	Dificuldade na aquisição de dados de automação	0	35	23	MÉDIO (2)
	Dificuldade para modelar e integrar dados	11	30	17	MÉDIO (2)
	Falta de infraestrutura e redes baseadas na internet	1	18	39	ALTO (3)
	Falta de integração de plataformas de tecnologia	6	36	16	MÉDIO (2)
	Falta de padronização dos dados	9	29	20	MÉDIO (2)
	Má qualidade de dados existentes	5	33	20	MÉDIO (2)
	Problemas de Segurança dos dados	0	1	57	ALTO (3)
Questões Legais	0	20	38	ALTO (3)	

b) frequência de ocorrência dos grupos de dificuldades:

Conforme discutido na Seção 4.3.3.2 – Quadro 9, foi estabelecida a frequência de ocorrência das dificuldades de acordo com os grupos relacionadas aos níveis da Indústria 4.0. Como peso, atribui-se a própria porcentagem relativa à frequência de ocorrência em relação aos demais grupos de dificuldades.

A Figura 25 demonstra a planilha utilizada como ferramenta para definir o nível de priorização da dificuldade, tendo como exemplo o Nível 0 (Digitalização) da Indústria 4.0.

	G	H	I	J	K
2	NÍVEL 0 - DIGITALIZAÇÃO (Informatização / Conectividade)				
3					
4					
5		DESAFIOS / DIFICULDADES	NÍVEL DE IMPORTÂNCIA DA RESOLUÇÃO	% FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DO GRUPO	NÍVEL DE PRIORIZAÇÃO DA DIFICULDADE
6	CULTURAL	Baixo apoio e dedicação da liderança no processo de implantação	3	0,44	1,31
7		Baixo entendimento sobre a Indústria 4.0	3	0,44	1,31
8		Crescimento Econômico baseado em mão de obra barata	1	0,44	0,44
9		Dúvidas sobre o benefício econômico dos investimentos digitais	3	0,44	1,31
10		Falta de cultura digital	2	0,44	0,88
11		Problemas com a redução de oportunidades de emprego	1	0,44	0,44
12		Relutância ao implantar a Indústria 4.0	2	0,44	0,88
13		GRAU DE DIFICULDADE			
15	ESTRATÉGICO	Deficiência na visão e estratégia das operações digitais	2	0,25	0,50
16		Falta de competência na aplicação de novos modelos de negócio	2	0,25	0,50
17		Problema de coordenação e colaboração cliente-fornecedor	1	0,25	0,25
18		Restrições financeiras	3	0,25	0,75
19		GRAU DE DIFICULDADE			
21	POLÍTICAS/PL ANOS GOVERN.	Deficiência em Pesquisa e desenvolvimento (P&D)	3	0,13	0,38
22		Falta de suporte e apoio governamentais	2	0,13	0,25
23		GRAU DE DIFICULDADE			
25	TECNOLÓGICO / INFRAESTRUTURA	Falta de infraestrutura e redes baseadas na internet	3	0,19	0,56
26		Falta de integração de plataformas de tecnologia	2	0,19	0,38
27		Falta de padronização dos dados	2	0,19	0,38
28		GRAU DE DIFICULDADE			

FIGURA 25 – PLANILHA PARA DEFINIÇÃO DO NÍVEL DE PRIORIZAÇÃO DAS DIFICULDADES (NÍVEL 0)

Na coluna “G” estão os grupos de dificuldades. As dificuldades surgem na sequência, sendo demonstradas na coluna “H”. A coluna “I” elenca o nível de importância da resolução das dificuldades (de acordo com os respondentes). Já na coluna “J” estão os valores referentes à porcentagem da frequência de ocorrência do grupo em determinado nível (no caso da Figura 25, utilizou-se exemplo do Nível 0 – Digitalização). Por fim, a coluna “K” demonstra o nível de priorização das dificuldades.

Para o cálculo do nível de priorização das dificuldades utilizou-se a equação:

$$\text{Nível de priorização (K)} = \text{nível de importância (I)} \times \text{frequência de ocorrência do grupo (J)}$$

Sendo assim, a priorização se dá respeitando, primeiramente, o peso do nível de importância de resolução da dificuldade (Coluna “I”). Dentre as dificuldades classificadas com o mesmo peso, considera-se o nível de priorização da

dificuldade calculado (Coluna “K”). Dessa forma, a empresa será norteada, por meio de uma ordem lógica, a definir quais as dificuldades deverão ser tratadas primeiramente e quais serão tratadas em momentos subsequentes.

As Figuras 26, 27, 28 e 29 demonstram, respectivamente, a planilha adequada para os níveis 1 (Visibilidade), 2 (Transparência), 3 (Capacidade Preditiva) e 4 (Adaptabilidade).

	G	H	I	J	K
2	NÍVEL 1 - VISIBILIDADE				
3					
4					
5		DESAFIOS / DIFICULDADES	NÍVEL DE IMPORTÂNCIA DA RESOLUÇÃO	% FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DO GRUPO	NÍVEL DE PRIORIZAÇÃO DA DIFICULDADE
6	CULTURAL	Crescimento Econômico baseado em mão de obra barata	1	0,30	0,30
7		Falta de Mão de Obra qualificada	2	0,30	0,60
8		Problemas com a redução de oportunidades de emprego	1	0,30	0,30
9		GRAU DE DIFICULDADE			
10					
11	ESTRATÉGICO	Falta de competência na aplicação de novos modelos de negócio	2	0,20	0,40
12		Restrições financeiras	3	0,20	0,60
13		GRAU DE DIFICULDADE			
14					
15	TECNOLÓGICO / INFRAESTRUTURA	Complexidade na análise de dados	2	0,50	1,00
16		Dificuldade na aquisição de dados de automação	2	0,50	1,00
17		Falta de padronização dos dados	2	0,50	1,00
18		Problemas de Segurança dos dados	3	0,50	1,50
19		Questões Legais	3	0,50	1,50
20		GRAU DE DIFICULDADE			

FIGURA 26 – PLANILHA PARA DEFINIÇÃO DO NÍVEL DE PRIORIZAÇÃO DAS DIFICULDADES (NÍVEL 1)

	G	H	I	J	K
2	NÍVEL 2 - TRANSPARÊNCIA				
3					
4					
5		DESAFIOS / DIFICULDADES	NÍVEL DE IMPORTÂNCIA DA RESOLUÇÃO	% FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DO GRUPO	NÍVEL DE PRIORIZAÇÃO DA DIFICULDADE
6	CULTURAL	Crescimento Econômico baseado em mão de obra barata	1	0,33	0,33
7		Falta de Mão de Obra qualificada	2	0,33	0,67
8		Problemas com a redução de oportunidades de emprego	1	0,33	0,33
9		GRAU DE DIFICULDADE			
10					
11	ESTRATÉGICO	Falta de competência na aplicação de novos modelos de negócio	2	0,22	0,44
12		Restrições financeiras	3	0,22	0,67
13		GRAU DE DIFICULDADE			
14					
15	TECNOLÓGICO / INFRAESTRUTURA	Complexidade na análise de dados	2	0,44	0,89
16		Dificuldade para modelar e integrar dados	2	0,44	0,89
17		Falta de padronização dos dados	2	0,44	0,89
18		Má qualidade de dados existentes	2	0,44	0,89
19		GRAU DE DIFICULDADE			

FIGURA 27 – PLANILHA PARA DEFINIÇÃO DO NÍVEL DE PRIORIZAÇÃO DAS DIFICULDADES (NÍVEL 2)

	G	H	I	J	K
2	NÍVEL 3 - CAPACIDADE PREDITIVA				
3					
4					
5		DESAFIOS / DIFICULDADES	NÍVEL DE IMPORTÂNCIA DA RESOLUÇÃO	% FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DO GRUPO	NÍVEL DE PRIORIZAÇÃO DA DIFICULDADE
6	CULTURAL	Crescimento Econômico baseado em mão de obra barata	1	0,50	0,50
7		Falta de Mão de Obra qualificada	2	0,50	1,00
8		Problemas com a redução de oportunidades de emprego	1	0,50	0,50
9		GRAU DE DIFICULDADE			
11	ESTRATÉGICO	Restrições financeiras	3	0,17	0,50
12		GRAU DE DIFICULDADE			
14	TECNOLÓGICO / INFRAESTRUTURA	Complexidade na análise de dados	2	0,33	0,67
15		Falta de padronização dos dados	2	0,33	0,67
16		GRAU DE DIFICULDADE			

FIGURA 28 – PLANILHA PARA DEFINIÇÃO DO NÍVEL DE PRIORIZAÇÃO DAS DIFICULDADES (NÍVEL 3)

	G	H	I	J	K
2	NÍVEL 4 - ADAPTABILIDADE				
3					
4					
5		DESAFIOS / DIFICULDADES	NÍVEL DE IMPORTÂNCIA DA RESOLUÇÃO	% FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DO GRUPO	NÍVEL DE PRIORIZAÇÃO DA DIFICULDADE
6	CULTURAL	Crescimento Econômico baseado em mão de obra barata	1	0,50	0,50
7		Problemas com a redução de oportunidades de emprego	1	0,50	0,50
8		GRAU DE DIFICULDADE			1,00
10	ESTRATÉGICO	Restrições financeiras	3	0,25	0,75
11		GRAU DE DIFICULDADE			0,75
13	TECNOLÓGICO / INFRAESTRUTURA	Falta de padronização dos dados	2	0,25	0,50
14		GRAU DE DIFICULDADE			0,50

FIGURA 29 – PLANILHA PARA DEFINIÇÃO DO NÍVEL DE PRIORIZAÇÃO DAS DIFICULDADES (NÍVEL 4)

4.3.3.5. ANÁLISE DO ÍNDICE DE MONITORAMENTO DA EVOLUÇÃO DAS DIFICULDADES (IMED)

Visando a efetiva gestão dos indicadores da empresa pela liderança, inclui-se no método o cálculo do Índice de Monitoramento da Evolução das Dificuldades (IMED). Com esse indicador, a empresa poderá realizar o acompanhamento da evolução das dificuldades baseado na resolução das mesmas.

Para isso, conforme demonstra o exemplo da Figura 30, utilizou-se da mesma ferramenta apresentada na Seção 4.3.3.4, por meio do *Software MS Excel®*.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
2		NÍVEL 0 - DIGITALIZAÇÃO (Informatização / Conectividade)										
3												
4												
5								DESAFIOS / DIFICULDADES	MÍVEL DE IMPORTÂNCIA DA RESOLUÇÃO	% FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA NO ANO	MÍVEL DE PRIORIZAÇÃO DA DIFICULDADE	DIFICULDADE ADEQUADA VENCIDA?
6		CULTURAL	0,438	100%	0,44		Baixo apoio e dedicação da liderança no processo de	3	0,44	1,31	NÃO	
7		ESTRATÉGICO	0,25	100%	0,25		Baixo entendimento sobre a Indústria 4.0	3	0,44	1,31	NÃO	
8		POLÍTICAS/ PLANOS GOVERNAMENTAIS	0,125	100%	0,13		Crescimento Econômico baseado em mão de obra barata	1	0,44	0,44	NÃO	
9		TECNOLÓGICO/ INFRAESTRUTURA	0,188	100%	0,19		Dúvidas sobre o benefício econômico dos investimentos digitais	3	0,44	1,31	NÃO	
10							Falta de cultura digital	2	0,44	0,88	NÃO	
11							Problemas com a redução de oportunidades de emprego	1	0,44	0,44	NÃO	
12							Relutância ao implantar a Indústria 4.0	2	0,44	0,88	NÃO	
13		ÍNDICE DE MONITORAMENTO DA EVOLUÇÃO DAS DIFICULDADES (IMED)	100,0%									
14							GRAU DE DIFICULDADE				100%	
15		ESTRATÉGICO					Deficiência na visão e estratégia das operações digitais	2	0,25	0,50	NÃO	
16							Falta de competência na aplicação de novos modelos de	2	0,25	0,50	NÃO	
17							Problema de coordenação e colaboração cliente-fornecedor	1	0,25	0,25	NÃO	
18							Restrições financeiras	3	0,25	0,75	NÃO	
19							GRAU DE DIFICULDADE				100%	
20												
21		POLÍTICAS/ PLANOS GOVERN.					Deficiência em Pesquisa e desenvolvimento (P&D)	3	0,13	0,38	NÃO	
22							Falta de suporte e apoio governamentais	2	0,13	0,25	NÃO	
23							GRAU DE DIFICULDADE				100%	
24												
25		TECNOLÓGICO / INFRAESTRUTURA					Falta de infraestrutura e redes baseadas na internet	3	0,19	0,56	NÃO	
26							Falta de integração de plataformas de tecnologia	2	0,19	0,38	NÃO	
27							Falta de padronização dos dados	2	0,19	0,38	NÃO	
28							GRAU DE DIFICULDADE				100%	

FIGURA 30 – PLANILHA PARA CÁLCULO DO IMED (NÍVEL 0)

Primeiramente, deve-se selecionar, na coluna “L”, se a dificuldade contida na coluna “H” foi vencida pela empresa ou não. Importante ressaltar que, de maneira binária, o campo poderá ser preenchido apenas pelas opções “SIM” ou “NÃO”.

Com isso, ainda na coluna “L”, nas linhas “13”, “19”, “23” e “28”, calcula-se, de forma individual, o grau de dificuldade residual dos grupos “Cultural”, “Estratégico”, “Políticas/ Planos Governamentais” e “Tecnológico/ Infraestrutura”, respectivamente. O cálculo se dá por meio da média ponderada, considerando como peso o nível de priorização das dificuldades (coluna “K”) contidas em cada grupo.

O IMED (colunas “C” e “D”, linhas “12” e “13”) é obtido por meio do cálculo da média ponderada dos valores obtidos como grau de dificuldade de cada grupo, considerando como fator de peso a porcentagem da frequência de ocorrência do grupo (coluna “C”), o qual varia de acordo com o nível da Indústria 4.0. A mesma lógica foi definida para os demais níveis da Indústria 4.0.

Portanto, o IMED é um índice percentual que demonstra o grau de dificuldade residual para se vencer em determinado nível da Indústria 4.0. Quanto maior o percentual, maior a quantidade de dificuldades a serem vencidas em um nível específico da indústria 4.0.

4.3.3.6. ANÁLISE DAS PROPOSTAS PARA RESOLUÇÃO DAS DIFICULDADES

Um dos principais objetivos do método é propor soluções para as dificuldades. Uma vez executadas todas as etapas do método anteriormente demonstradas, cabe à empresa analisar as propostas para a resolução das dificuldades que enfrentam.

A fim de realizar o levantamento das propostas para solucionar as dificuldades, foram consideradas três fontes de conhecimento (Figura 31): conceitos levantados na literatura, conhecimento de profissionais da indústria

e de profissionais da academia. As propostas dos profissionais da indústria e da academia foram obtidas por meio da devolutiva do instrumento de coleta de dados.

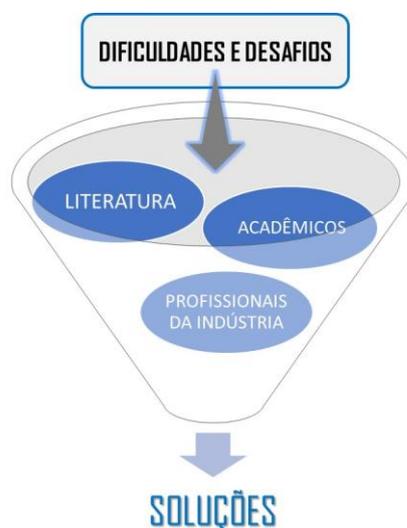


FIGURA 31 – LEVANTAMENTO DAS PROPOSTAS PARA SOLUCIONAR AS DIFICULDADES

Com a devolutiva dos 58 respondentes, foi possível realizar um acervo de soluções para vencer as dificuldades mapeadas. A síntese das propostas para cada dificuldade é demonstrada no Quadro 11, bem como a frequência que a mesma solução foi mencionada por diferentes profissionais.

QUADRO 11 – PROPOSTAS PARA RESOLUÇÃO DAS DIFICULDADES INERENTES À IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0

DIFICULDADES	PROPOSTAS PARA RESOLUÇÃO	FREQUÊNCIA DE MENÇÃO
Baixo apoio e dedicação da liderança no processo de implantação	- Treinamentos e conscientização da liderança;	7
	- Promover Coaching com a alta liderança;	3
	- Inserção de metas relacionadas à Indústria 4.0 na avaliação profissional dos líderes.	13
Baixo entendimento sobre a Indústria 4.0	- Realizar campanhas para conhecimento;	4
	- Organizar palestras, treinamentos e workshops sobre Indústria 4.0;	7
	- Realizar Benchmarking em empresas que desenvolvem a Indústria 4.0;	16
	- Utilizar plataformas de treinamentos digitais.	4

QUADRO 11 – PROPOSTAS PARA RESOLUÇÃO DAS DIFICULDADES INERENTES À IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 (CONT.)

DIFICULDADES	PROPOSTAS PARA RESOLUÇÃO	FREQUÊNCIA DE MENÇÃO
Crescimento Econômico baseado em mão de obra barata	- Viabilizar a combinação entre Startups de Inovação e a Indústria;	1
	- Avaliar a maturidade digital no ambiente fabril.	1
Dúvidas sobre o benefício econômico dos investimentos digitais	- Organizar palestras, treinamentos e workshops sobre Indústria 4.0;	11
	- Realizar Benchmarking em empresas desenvolvendo Indústria 4.0;	27
	- Solicitar estudos de viabilidade financeira a fornecedores de tecnologia para Indústria 4.0;	3
	- Considerar custos virtuais e custos evitados.	2
Falta de cultura digital	- Programas de reconhecimento por práticas da Indústria 4.0;	5
	- Inserção de metas e objetivos relacionados à Indústria 4.0 na avaliação de desempenho dos funcionários;	18
	- Utilizar atrativos digitais como <i>SmartPhones</i> e aplicativos.	3
Falta de Mão de Obra qualificada	- Realizar parcerias com universidades e instituições de ensino;	19
	- Desenvolver programas de treinamento e multiplicação interna de conhecimento para demais funcionários (inserir funcionários de outras unidades do grupo, se aplicável);	2
	- Utilizar plataformas de treinamentos digitais.	3
Redução de oportunidades de emprego	- Especialização e treinamento dos funcionários atuais para suportar a implantação e mantê-los para sustentar o resultado (plano de carreira);	14
	- Campanhas de conscientização elucidando a importância da mão-de-obra humana.	1
Relutância ao implantar a Indústria 4.0	- Programas de reconhecimento por práticas da Indústria 4.0;	5
	- Inserção de metas relacionadas à Indústria 4.0 na avaliação de desempenho dos funcionários;	14
	- Envolver a alta direção em todos os processos;	4
	- Aplicação de pequenos protótipos visando a confirmação da viabilidade do conceito;	8
	- Trabalhar com transparência e comunicação.	2
Deficiência na visão e estratégia das operações digitais	- Envolver todas as áreas da empresa para desenhar a estratégia digital;	3
	- Elaborar um Plano Diretor para Automação e TI.	1

QUADRO 11 – PROPOSTAS PARA RESOLUÇÃO DAS DIFICULDADES INERENTES À IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 (CONT.)

DIFICULDADES	PROPOSTAS PARA RESOLUÇÃO	FREQUÊNCIA DE MENÇÃO
Falta de competência na aplicação de novos modelos de negócio	- Treinamentos específicos nas tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0;	1
	- Contratar consultorias especializadas em elaboração de modelos de negócio.	3
Problema de coordenação e colaboração cliente-fornecedor	- Programas de reconhecimento por práticas da Indústria 4.0;	2
	- Estabelecer benefícios para fornecedores e clientes ao colaborarem com conceitos da Indústria 4.0.	10
Restrições financeiras	- Realizar um plano diretor priorizando os investimentos;	13
	- Buscar parcerias com indústrias do ramo ou demais unidades do mesmo grupo (se aplicável) visando redução no custo de fornecedores das tecnologias;	2
	- Incentivar criação de Startups com funcionários da própria empresa;	1
	- Buscar aporte em órgãos competentes do governo;	18
	- Contatar instituições financeiras para aquisição de equipamentos;	3
	- Buscar empresas cujo modelo de fornecimento é SaaS (<i>Software as a Service</i>).	2
Deficiência em Pesquisa e desenvolvimento (P&D)	- Realizar parcerias com universidades e instituições de ensino;	7
	- Desenvolver programas de treinamento e multiplicação interna de conhecimento para demais funcionários (inserir funcionários de outras unidades do grupo, se aplicável);	1
	- Organizar <i>Hackathons</i> .	3
Falta de suporte e apoio governamentais	- Organizar fóruns, feiras e congressos sobre Indústria 4.0 visando exposição e incentivos;	2
	- Criar aliança entre associações empresariais, confederações e federações de indústria e sindicatos.	6
Complexidade na análise de dados	- Adoção de <i>Blockchain</i> e Inteligência Artificial;	2
	- Treinamento/ Cursos de Equipes em Ciência e Engenharia de Dados;	1
	- Convênio com Universidades para desenvolvimento de soluções;	1
	- Garantir confiabilidade da fonte dos dados;	1
	- Introduzir ferramentas de <i>Business Intelligence</i> (BI).	3

QUADRO 11 – PROPOSTAS PARA RESOLUÇÃO DAS DIFICULDADES INERENTES À IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 (CONT.)

DIFICULDADES	PROPOSTAS PARA RESOLUÇÃO	FREQUÊNCIA DE MENÇÃO
Dificuldade na aquisição de dados de automação	- Padronizar protocolos de comunicação;	1
	- Comunicação via rede <i>ethernet/ wifi</i> ;	1
	- Criar <i>software SCADA</i> ;	12
	- Estabelecer requisitos físicos e lógicos mínimos;	1
	- Integração entre profissionais de automação e profissionais de TI;	4
	- Definir uma máquina ou processo como modelo.	9
Dificuldade para modelar e integrar dados	- Estabelecer política de curadoria de dados;	1
	- Integração entre profissionais de automação e profissionais de TI.	3
Falta de infraestrutura e redes baseadas na internet	- Investimentos em infraestrutura baseado no carregamento de dados em nuvem ao invés de servidores físicos;	11
	- Integração via VPN;	5
	- Acompanhar a Implementação da tecnologia 5G;	2
	- Buscar parcerias (criar SPE) com empresas de telecomunicações locais;	3
	- Implementar aplicações de <i>Edge Computing</i> .	2
Falta de integração de plataformas de tecnologia	- Adotar integração por programação (APIs);	2
	- Criar equipe focada em ciência, engenharia e segurança de dados.	1
Falta de padronização dos dados	- Contratar um Analista de Negócios (profissional da área de TI) para fazer intercâmbio usuário-programador;	1
	- Aplicar o RAMI 4.0 (Modelo de Referência para Arquitetura da Industria 4.0);	2
	- Definir rotina de participação de cientistas de dados em cada área da empresa;	3
	- Introduzir ferramentas de <i>Business Intelligence (BI)</i> .	2
Má qualidade de dados existentes	- Aplicar filtros para tratar informações antes de trabalhar com os dados;	4
	- Minimizar a existência de ilhas de informação;	1
	- Rastrear os dados até a fonte (sensores, instrumentos, atuadores).	1
Problemas de Segurança dos dados	- Utilizar softwares para criptografar informações e transações;	9
	- Utilizar equipamentos atualizados;	11
	- Implantar <i>Firewall</i> ;	5
	- Implantar <i>Blockchain</i> ;	2
	- Controlar permissões de usuários.	3

QUADRO 11 – PROPOSTAS PARA RESOLUÇÃO DAS DIFICULDADES INERENTES À IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 (CONT.)

DIFICULDADES	PROPOSTAS PARA RESOLUÇÃO	FREQUÊNCIA DE MENÇÃO
Questões Legais	- Aplicar treinamentos de conscientização dos colaboradores;	5
	- Implementar a Lei Geral de Proteção dos Dados Pessoais (LGPD);	3
	- Estabelecer departamento de <i>Compliance</i> ;	3
	- Revisar contratos entre empresas.	3

No grupo “Cultural”, para a dificuldade “Baixo apoio e dedicação da liderança no processo de implantação” foram propostas três soluções. A primeira é a organização de treinamentos para conscientização da liderança quanto à importância de se apoiar o processo de digitalização. A segunda solução, além de treinamentos, a promoção de *coaching* aos líderes, pois, por se tratar de medida individual, os líderes serão orientados em como atender às expectativas da sua equipe tendo como base os perfis adequados de liderança intrínsecos aos processos da Indústria 4.0. Como terceira solução proposta, para garantir que o conceito de digitalização seja estabelecido, sejam inseridas metas relacionadas à Indústria 4.0 que sirvam como critério de avaliação profissional da liderança, como por exemplo, número de projetos que contenham tecnologias inerentes à Indústria 4.0.

No caso da dificuldade “Baixo entendimento sobre a Indústria 4.0” sugere-se realizar campanhas dentro da empresa visando a expansão do conhecimento sobre o tema. Além disso, a organização de palestras e treinamentos com especialistas no assunto, bem como *workshops* voltados à implantação da Indústria 4.0 tende a mudar o cenário dessa dificuldade. Outra maneira de solucionar essa dificuldade é realizar *benchmarkings* em empresas que já desenvolvem a implantação da Indústria 4.0 em seus processos, visando presenciar os conceitos e tecnologias *in loco*. Por fim, outra solução é a utilização de plataformas de treinamentos digitais como a Udemy, Samba tech, EAD Box, entre outras. Além de terem uma infinidade de cursos online disponíveis sobre o tema, os custos são consideravelmente baixos.

A dificuldade “Crescimento econômico baseado em mão de obra barata” pode ser solucionada com a viabilização da combinação de *Startups* voltadas à inovação com a indústria, ajudando as empresas no encorajamento para investir em novas tecnologias e conseqüentemente na obtenção de melhores resultados econômicos. Outra solução é realizar a avaliação da maturidade digital no ambiente fabril de forma a priorizar os investimentos a serem realizados, visto que é um erro a aplicação de tecnologias de alto custo antes mesmo de conhecer as necessidades de seus processos.

Como soluções para “Duvidas sobre o benefício econômico dos investimentos digitais”, propõe-se também a organização de palestras e treinamentos com especialistas no assunto, bem como *workshops* voltados à implantação da Indústria 4.0. A realização de *benchmankings* em empresas que já desenvolvem a implantação da Indústria 4.0 em seus processos, visando presenciar os conceitos e tecnologias *in loco*, é outra solução que pode ser aplicada nesta dificuldade. Além disso, solicitar estudos detalhados de viabilidade financeira a fornecedores de tecnologias da Indústria 4.0 é uma forma de esclarecer os ganhos *versus* os gastos intrínsecos aos investimentos digitais, fornecendo maior segurança na tomada de decisões. Fazer o estudo de benefícios considerando os ganhos virtuais e os custos evitados com determinadas soluções é outra forma de demonstrar os benefícios econômicos da Indústria 4.0. Muitas vezes, considerando apenas os ganhos reais, denominados *hard savings*, deixa-se de enxergar outros benefícios não mensuráveis, porém importantes para os processos, ou a evitação de maiores custos com processos ineficientes.

Para a “Falta de cultura digital”, estabelecer programas de reconhecimento por práticas da Indústria 4.0, onde o funcionário poderá ser gratificado pelo avanço da aplicação do conceito, é uma forma de fomentar a cultura digital na organização. A inserção de metas relacionadas à Indústria 4.0 na avaliação de desempenho dos funcionários elegíveis ao envolvimento na implantação das tecnologias, é outra forma de impulsionar as iniciativas digitais pelos colaboradores. Um dispositivo vastamente utilizado e que a grande maioria

dos funcionários são habituados ao uso é o *Smartphone*. A utilização de aplicativos e informações por meio desses aparelhos é uma solução para aumentar o interesse na implantação da Indústria 4.0, sendo a própria integração dos celulares e aplicativos uma aplicação dos conceitos digitais.

Na dificuldade “Falta de mão de obra qualificada”, os respondentes propuseram realizar parcerias com universidades e instituições de ensino, visando a qualificação de profissionais no assunto, bem como o aproveitamento de alunos e pesquisadores para realização de estudos específicos. Outra solução seria o desenvolvimento de programas de multiplicação interna de conhecimentos inerentes à Indústria 4.0. Essa prática envolve funcionários da empresa que dominam o assunto em questão e se propõem a disseminar seus conhecimentos para outros funcionários, por meio de um método de ensino, monitoramento e avaliação do conhecimento multiplicado, podendo envolver funcionários de outras unidades da empresa, se aplicável. Como já foi detalhada, a solução de utilização de plataformas de treinamentos digitais também é uma opção para a resolução dessa dificuldade.

No que diz respeito à dificuldade “Redução de oportunidade de emprego”, uma das soluções propostas é o investimento em treinamentos e especialização dos funcionários atuais a fim de suportar a implantação da Indústria 4.0 e estabelecer planos de carreira, mantendo-os inseridos nos processos. De acordo com o avanço da Indústria 4.0, esses profissionais terão a responsabilidade de sustentar as medidas implantadas, garantindo os resultados alcançados. Outra forma de vencer essa dificuldade é realizar campanhas de conscientização elucidando a importância da mão de obra humana. A empresa que deseja implantar a Indústria 4.0 e suas pessoas precisam estar cientes de que a quarta revolução industrial não se trata apenas de conhecimento técnico, mas também de atividades as quais a tecnologia ainda não é capaz de atuar, como por exemplo, a criatividade e raciocínio lógico.

Como soluções apontadas para a dificuldade “Relutância ao implantar a Indústria 4.0”, também foram sugeridas a utilização de programas de reconhecimento por práticas da Indústria 4.0, onde o funcionário poderá ser gratificado pelo avanço da aplicação do conceito, e a inserção de metas relacionadas à Indústria 4.0 na avaliação de desempenho dos funcionários, conforme já detalhadas anteriormente. Outras propostas dizem respeito ao envolvimento da alta direção em todos os processos para que a mudança cultural tenha maior assertividade e atinja todos os colaboradores, isto é, aplicação do conceito *top-down*. A aplicação de pequenos protótipos ou pilotos visando a confirmação da viabilidade da Indústria 4.0 é outra forma de amenizar a relutância na implantação. A recomendação é que as empresas realizem pequenas provas de conceito com as tecnologias em pequenos casos de uso, mostrando gradualmente a efetividade da quarta revolução industrial. Além disso, Albukhitan (2020) afirma que trabalhar com transparência e comunicação efetiva são essenciais para motivar todos na empresa sobre o potencial da nova revolução industrial.

Entrando no grupo “Estratégico”, a dificuldade “Deficiência na visão estratégia das operações digitais” pode ser solucionada como envolvimento de todas as áreas da empresa para desenhar sua estratégia digital. A definição da estratégia precisa ser algo que envolva toda a organização. Desde a área de recursos humanos, passando pela fábrica e nas áreas de relacionamento com os fornecedores e clientes. Ainda, elaborar um plano diretor para automação e Tecnologia da Informação é uma forma de mitigar essa dificuldade. O Plano Diretor de Automação e Tecnologia da Informação é um instrumento de diagnóstico, planejamento e gestão de recursos e processos de automação e TI. O documento prioriza a alocação de recursos nos projetos e ações de automação e TI de maneira alinhada ao negócio, permitindo o acompanhamento do *status* dos projetos, monitoramento dos níveis de serviço e avaliação de melhorias.

Para a dificuldade “Falta de competência na aplicação de novos modelos de negócio” sugere-se a aplicação de treinamentos específicos nas tecnologias

habilitadoras da Indústria 4.0, tendo assim maior nível de conhecimento para desenvolver novos modelos de negócio. Outra possibilidade é contratar consultorias especializadas em elaboração de modelos de negócio a fim de suportar as empresas na estruturação da estratégia do negócio.

Já para a dificuldade “Problema de coordenação e colaboração cliente-fornecedor”, os profissionais de campo sugeriram implementar programas de reconhecimento por práticas da Indústria 4.0 que os fornecedores e/ou clientes executem. Promover premiações periódicas, convenções, entre outros eventos reconhecendo fornecedores são alguns exemplos. Por meio da motivação, partes terceiras tendem a colaborar de forma mais efetiva. Outra maneira é estabelecer benefícios diferenciados para fornecedores e clientes por colaborarem com os conceitos da Indústria 4.0 que a empresa esteja implementando. Exemplos dessa iniciativa é oferecer níveis *Premium* de serviço e/ou atendimento aos clientes, bem como níveis de priorização a fornecedores em processos de concorrências.

A dificuldade “Restrições financeiras” tem como solução a elaboração de um plano diretor de forma a realizar a priorização dos investimentos, levando em consideração o custo total, o benefício, *payback*, tempo e complexidade de implementação. Outra solução é buscar parcerias com outras empresas do mesmo ramo (ou até mesmo outras plantas do mesmo grupo, se aplicável) a fim de reduzir os custos dos fornecedores de tecnologias fechando pedidos de compras em massa, obtendo maior poder de negociação. Incentivar a criação de *startups* com funcionários da própria empresa, é outra maneira para driblar esta dificuldade. Com o apadrinhamento da empresa, os próprios funcionários podem formar *startups* sugerindo novas ideias e tecnologias de baixo custo, viabilizando os investimentos. Uma solução a ser considerada é buscar o aporte financeiro em órgãos competentes do governo, visando redução de juros, abonos de taxas, facilitando financiamentos, por exemplo. Na mesma linha, outra forma de solucionar esta dificuldade é contatar instituições financeiras para aquisição de equipamentos e tecnologias. Muitas vezes há condições especiais que facilitam os trâmites de aquisição de novas

tecnologias. Por fim, outra solução é buscar empresas que atuam com o modelo de fornecimento SaaS (*Software as a Service*). Neste modelo, ao invés das empresas adquirirem a tecnologia e/ou equipamento em si, os fornecedores oferecem uma espécie de aluguel das tecnologias/equipamentos a um custo a ser pago pelo seu uso, de acordo com um contrato entre ambas as partes, evitando que a empresa dispenda custos com depreciação de equipamentos e ativos, utilizando as soluções quando for convenientes e necessárias.

No grupo “Políticas/ Planos Governamentais”, a dificuldade “Deficiência em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)” também tem como solução a realização de parcerias com universidades e instituições de ensino visando o aproveitamento de alunos e pesquisadores para realização de estudos e pesquisas específicas ao desenvolvimento de tecnologias e processos a menores custos. O desenvolvimento de programas de treinamento e multiplicação interna de conhecimento de funcionários da própria organização para demais colaboradores é outra forma de intensificar o processo de P&D. Além disso, a organização de *Hackathons* pode ser uma forma de acelerar o processo de P&D. *Hackathons* são eventos que reúnem desenvolvedores de *software*, *designers* e outros profissionais relacionados à área de programação, com o intuito de, em um período curto de tempo, criarem soluções inovadoras para algum problema específico (AUSPIN, 2019).

“Falta de suporte e apoio governamentais” é uma dificuldade para qual pode ser direcionada como solução a organização de fóruns, feiras e congressos sobre Indústria 4.0 visando exposição e incentivos governamentais. Esses eventos podem ser organizados em conjunto a outras empresas do mesmo ramo de atuação para intensificar a ação. Outra solução é criar uma aliança entre associações empresariais, confederações, federações de indústria e sindicatos, sendo um dos primeiros passos para trabalhar os processos com tema tão transversal e impactante como a Indústria 4.0, dando assim maior visibilidade e chamando atenção do governo, mesmo que seja local.

No que diz respeito às dificuldades do grupo “Tecnológico/ Infraestrutura”, para a dificuldade “Complexidade na análise de dados” sugere-se a adoção do *Blockchain* e Inteligência Artificial para uma máquina tomar decisões autônomas durante o processo produtivo, assim é ampliada a capacidade de análise e a velocidade de tomada de decisões mais seguras diante de um volume crescente de informações geradas por indústrias de diversos segmentos. Como solução também elenca-se o treinamento e cursos de equipes em Ciência e Engenharia de dados, bem como convênios com universidades a fim de desenvolver soluções específicas para a análise de dados. Outra solução, antes de levar todos os dados para um Big Data, é necessário garantir que a fonte dos dados seja confiável, que os dados são íntegros, contextualizar os dados numa camada anterior e entender a diferença na aplicação de dados estruturados e não estruturados. Também como solução é sugerida a introdução de ferramentas de *Business Intelligence (BI)*, capazes de acessar e examinar conjuntos de dados apresentando seus resultados em relatórios analíticos, resumos, painéis gráficos e mapas, visando fornecer aos utilizadores informações detalhadas sobre o estado do negócio.

Como soluções para “Dificuldade na aquisição de dados de automação” estão: a padronização dos protocolos de comunicação. Um protocolo é uma convenção que controla e possibilita uma conexão, comunicação, transferência de dados entre dois sistemas computacionais. Realizar a comunicação de dispositivos via rede *ethernet/ wifi*. Criar software SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) centralizado para receber dados de todos os sistemas automatizados, obtendo maior qualidade dos dados, redução dos custos operacionais e maior desempenho de produção. O estabelecimento de requisitos físicos e lógicos mínimos para integração de diversos fornecedores de soluções tecnológicas é outra medida para essa dificuldade. Outra forma de resolver esta dificuldade é realizar a integração entre profissionais de automação e profissionais da tecnologia da informação. Deve haver uma integração e colaboração real entre os profissionais de automação que são os donos do ativo e os profissionais de TI que tratam os

dados de forma que, em conjunto, estudem a capacidade do sistema de automação em fornecer os dados, como esses dados deverão ser extraídos, com que frequência, e quais melhorias no sistema poderiam ser aplicadas de forma a possibilitar a extração de mais dados sem comprometer a função principal do ativo que é controlar a produção. Muitas vezes as empresas trabalham com um modelo *Top-Down*, onde a TI tenta a conexão dos seus modelos por si, quando o melhor a se fazer é o modelo *Bottom-up*, buscando o modelo industrial e as dores do cliente interno. Por fim, como solução, sugere-se definir uma máquina ou processo como modelo, assim, a definição e o melhor método para adquirir os dados podem ser explorados para depois serem expandidos para demais processos.

A “Dificuldade para modelar e integrar dados” tem também como solução a integração entre profissionais de automação e profissionais da tecnologia da informação, como já citada. Mais uma solução é estabelecer uma política de curadoria de dados, para que sejam disponibilizados dados de qualidade e em tempo real de cada sistema. O papel da curadoria, além de selecionar e estruturar os dados, é garantir que eles estejam sempre disponíveis e adequados para serem utilizados, isto é, assegurar que eles continuem viáveis e possam ser interpretados continuamente e recuperados por outra pessoa.

Para a dificuldade “Falta de infraestrutura e redes baseadas na internet” tem-se algumas soluções. Realizar investimentos em infraestrutura baseada no carregamento de dados em nuvem ao invés de servidores físicos (cabeamento, equipamentos de redes (*switches*, roteadores)). Além de ser uma opção de menor custo e reduzir espaço físico, as informações estarão disponíveis em tempo real e não corre o risco de serem perdidas por mal funcionamento e/ou panes em *hardwares*. A integração via VPN (*Virtual Private Network*) é uma solução que pode reduzir, inclusive, custos da empresa com acessos remotos. As VPNs são utilizadas, especialmente nas companhias em que funcionários trabalham remotamente, seja nas ruas ou no sistema *home office*, para se conectar à estrutura interna mesmo estando

longe. Acompanhar a evolução e implementação da tecnologia 5G é outra saída. A nova tecnologia de internet promove velocidades de acesso mais rápidas além de cobertura mais ampla e conexões mais estáveis. Outra solução é a criação de uma SPE (Sociedade de Propósito Específico) com empresas de telecomunicações locais visando o fornecimento de sinal de internet das coisas em todas as cidades aproveitando a estrutura física e o *know-how* de empresas de telecomunicações locais. Por fim, sugere-se a aplicação de *Edge Computing*. A *edge computing*, ou computação de borda, é quando o processamento acontece no local físico (ou próximo) do usuário ou da fonte de dados. Com o processamento mais próximo, os usuários se beneficiam de serviços mais rápidos e confiáveis. A *edge computing* é uma das formas como uma empresa pode usar e distribuir um conjunto de recursos em grande quantidade de locais.

Levando em consideração a dificuldade “Falta de integração de plataformas de tecnologia”, tem-se como solução a adoção de Interface de Programação de Aplicativos (API), a qual permite a troca de informações entre aplicações com linguagens diferentes. Além disso a criação de uma equipe focada em ciência, engenharia e segurança dos dados é outra maneira de solucionar essa dificuldade.

“Falta de padronização dos dados” é uma dificuldade que pode ser solucionada contratando um Analista de Negócios (profissional da área de TI) cuja função é realizar o intermédio entre o usuário dos dados/informações e o programador, visando alinhar as expectativas. Adicionalmente, sugere-se a aplicação do RAMI 4.0. *Reference Architectural Model for Industry 4.0* é um modelo para aplicações de soluções de conectividade para projetos aderentes a Indústria 4.0, permitindo um ecossistema cibernético de toda cadeia produtiva de forma padronizada. Como solução também é sugerida a participação de um membro da equipe de ciência de dados em cada departamento para auxiliar na definição dos requisitos dos novos sistemas. Evitar deixar a responsabilidade somente para um profissional que não possui qualificações para a função é uma forma de mitigar erros. Além disso, é

sugerida, também para essa dificuldade, a introdução de ferramentas de *Business Intelligence*. Como são ferramentas altamente customizáveis, é possível criar diferentes relatórios para diferentes públicos por meio da integração dos dados.

Como solução para a dificuldade “Má qualidade de dados existentes”, aplicar filtros com a finalidade de tratar as informações antes de trabalhar com os dados. Ainda, sugere-se minimizar a existência de ilhas de informação, transformando o “dono” do dado como curador do próprio dado. Rastrear os dados até sua fonte (sensores, instrumentos, atuadores) é outra solução para tratar dessa dificuldade. Isso garante que a calibração, o escalonamento, os cálculos internos nos controladores estejam corretos, que não haja duplicação de dados e que esses dados passem de forma íntegra e confiável por todas as etapas até chegarem ao *Big Data*.

Para “Problemas de Segurança dos dados” sugere-se a utilização de *softwares* para criptografar informações e transações, para que não seja possível a visualização por *hackers*. Além disso, sempre utilizar equipamentos atualizados e a implantação de *Firewall* também podem ser soluções para essa dificuldade. Para esta dificuldade também é sugerida a aplicação de *Blockchain*, conforme já descrita, e o controle rigoroso das permissões de usuários, garantindo que os usuários corretos tenham acesso e permissão a determinadas informações.

Para finalizar, a dificuldade “Questões Legais” pode ser solucionada com a aplicação de treinamentos disciplinares visando a conscientização de todos os colaboradores que tenham contato com dados da empresa. Implementação de leis como a Lei Geral de Proteção dos Dados Pessoais (LGPD) que elenca alguns princípios que as organizações devem obedecer quanto ao tratamento de dados. Estabelece as condições nas quais os dados pessoais podem ser tratados, define um conjunto de direitos para os titulares dos dados, gera obrigações específicas para os controladores dos dados e cria uma série de procedimentos e normas para que haja maior cuidado com o tratamento de dados e compartilhamento com terceiros (BIONI, 2019). Além

disso, criar um departamento específico de *Compliance* é uma alternativa. Esse setor é responsável por garantir o cumprimento de todas as leis, regras e regulamentos aplicáveis. A revisão minuciosa de todos os contratos que envolvam dados entre todas as empresas envolvidas também é uma forma de mitigação dessa dificuldade.

Além das soluções discutidas, alguns profissionais da área de TI também salientaram que, de um modo geral, tanto nas empresas quanto no país como um todo (sobretudo emergentes), por se tratar de um setor que não gera lucros diretos e, portanto, não está na estratégia principal do negócio, a área de TI nem sempre é alvo de investimentos, não sendo priorizado por gestores, ocasionando defasagem nos sistemas e tecnologias da informação. Segundo outros participantes da pesquisa, é de extrema importância a atualização constante de sistemas de tecnologia da informação para permitir de forma mais fácil e segura a aplicação dos conceitos da Indústria 4.0.

4.3.4. ETAPA DE AVALIAÇÃO

A etapa de avaliação do ciclo do projeto é baseada nas definições da etapa de desenvolvimento e tem o propósito de reproduzir o modelo proposto e realizar a avaliação quanto ao atendimento à solução do problema de pesquisa.

Hevner *et al.*, (2004) propõem alguns métodos que podem ser utilizados para a avaliação dos artefatos gerados pela *Design Science Research*, conforme já demonstrados no Quadro 5 do Capítulo 3, Seção 3.2.2.2.

A forma de avaliação do método escolhida para esse trabalho será dividida entre observacional e descritiva. Observacional pelo fato de aplicar um estudo de caso em uma empresa multinacional e descritiva por, em determinado momento do estudo de caso, serem criadas hipóteses (cenários).

4.3.4.1. ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA FABRICANTE DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Como apoio ao estudo de caso aplicado, considera-se o modelo de condução de estudo de caso na engenharia de produção desenvolvido por Miguel (2007), o qual é ilustrado pela Figura 32.

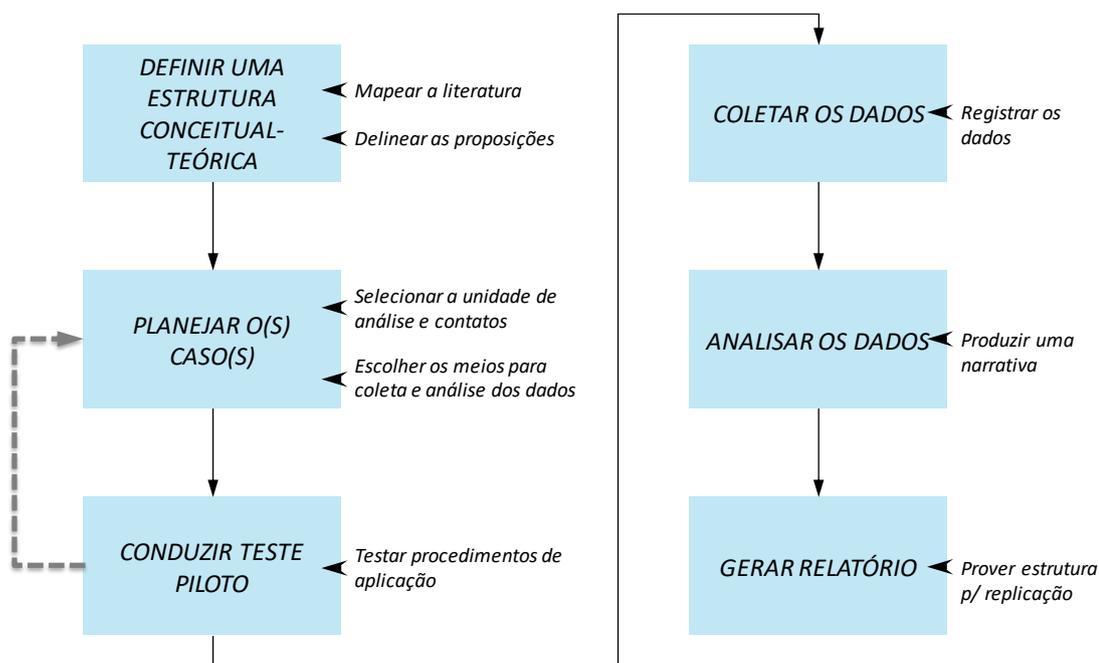


FIGURA 32 – ETAPAS DE CONDUÇÃO DO ESTUDO DE CASO

FONTE: ADAPTADO DE MIGUEL (2007)

Na primeira etapa, estrutura conceitual-teórica, basicamente define-se um referencial teórico para o trabalho, de forma a resultar em um mapeamento da literatura sobre o assunto. Sendo assim, considera-se todo o referencial teórico já apresentado neste trabalho abordado nos capítulos anteriores – a inexistência de estudos que consideram a priorização e resolução das dificuldades inerentes ao processo de implantação da Indústria 4.0.

A próxima etapa é planejar o caso, onde seleciona-se a unidade de análise e contatos, além de definir os meios para coleta de dados. O estudo de caso foi aplicado em uma empresa multinacional que atua na fabricação de equipamentos de construção (como tratores e escavadeiras), agrícolas (como colheitadeiras e tratores agrícolas) e veículos comerciais (como caminhões e ônibus), equipamentos marítimos e motores. A empresa emprega mais de 63

mil funcionários em mais de 60 unidades de fabricação e mais de 50 centros de pesquisa e desenvolvimento alocados em 180 países. A unidade escolhida para aplicar o método está situada no Brasil, em uma planta com cerca de 400 funcionários, cujo principal processo de transformação é a montagem de equipamentos agrícolas.

Como meios para coleta de dados serão utilizados os seguintes:

- Índice de Maturidade da Indústria 4.0 da ACATECH: utilizado para determinar o nível em que a empresa se encontra; e
- Planilha criada por meio do *software* MS Excel® (apresentada na Seção 4.3.3.4): utilizada para classificar as dificuldades vencidas e a vencer.

Como o autor desta tese tem vínculo direto com a empresa objeto do estudo de caso, tem autonomia para aplicar ferramentas e tomar decisões, o mesmo reproduziu as etapas do método proposto.

Conduzir o teste piloto é a etapa seguinte para o estudo de caso. Como o presente estudo de caso tem como finalidade atender uma das etapas do método *Design Science Research* (Etapa de Avaliação), o próprio será considerado como teste piloto por se tratar de uma tentativa de aplicação do método proposto por este estudo.

As próximas etapas, Coletar os Dados e Analisar os Dados serão demonstradas pelos tópicos a seguir.

- **AVALIAR O NÍVEL DE IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0**

Empregando o método para priorizar e propor soluções, de acordo com os processos e características da empresa, aplica-se o Índice de Maturidade da Indústria 4.0 (ACATECH) desenvolvido por Schuh *et al*, (2017). A empresa qualifica-se como Nível 0 (Digitalização – Informatização e Conectividade) no processo de implantação da Indústria 4.0.

Como o foco do método não é a avaliação do nível de implantação da Indústria 4.0, não serão detalhadas a aplicação do Índice de Maturidade e a maneira com que a empresa se enquadrou no nível de implantação avaliado. A partir daqui, portanto, será considerado o nível 0 (Digitalização – Informatização e Conectividade) para condução das próximas etapas do método proposto

- **IDENTIFICAR AS DIFICULDADES ASSOCIADAS AO NÍVEL DE IMPLANTAÇÃO**

Baseadas na avaliação realizada na etapa anterior, as dificuldades a serem levadas em consideração, que estão associadas ao nível 0 (Digitalização – Informatização e Conectividade), estão listadas a seguir.

- Pertencentes ao Grupo “Cultural”:
 - Baixo apoio e dedicação da liderança no processo de implantação;
 - Baixo entendimento sobre a Indústria 4.0;
 - Crescimento Econômico baseado em mão de obra barata;
 - Dúvidas sobre o benefício econômico dos investimentos digitais;
 - Falta de cultura digital;
 - Redução de oportunidades de emprego; e
 - Relutância ao implantar a Indústria 4.0.
- Pertencentes ao Grupo “Estratégico”:
 - Deficiência na visão e estratégia das operações digitais;
 - Falta de competência na aplicação de novos modelos de negócio;
 - Problema de coordenação e colaboração cliente-fornecedor; e
 - Restrições financeiras.

- Pertencentes ao Grupo “Políticas/ Planos Governamentais”:

- Deficiência em Pesquisa e desenvolvimento (P&D); e
- Falta de suporte e apoio governamentais.

- Pertencentes ao Grupo “Tecnológico/ Infraestrutura”:

- Falta de infraestrutura e redes baseadas na internet;
- Falta de integração de plataformas de tecnologia; e
- Falta de padronização dos dados.

- **CLASSIFICAR AS DIFICULDADES VENCIDAS E A VENCER**

Utilizando a ferramenta criada por meio do *software* MS Excel®, apresentada na Seção 4.3.3.4, nesta etapa a empresa deve classificar, dentre as dificuldades, quais foram vencidas e quais ainda necessitam ser vencidas.

De acordo com o Quadro 12, dentre as dezesseis dificuldades elencadas, a empresa classificou “Baixo apoio e dedicação da liderança no processo de implantação”, “Problemas com a redução de oportunidade de emprego” e “Relutância ao implantar a Indústria 4.0” como sendo dificuldades já vencidas.

QUADRO 12 – CLASSIFICAÇÃO DAS DIFICULDADES JÁ VENCIDAS

NÍVEL 0 - DIGITALIZAÇÃO (Informatização / Conectividade)					
	DESAFIOS / DIFICULDADES	NÍVEL DE IMPORTÂNCIA DA RESOLUÇÃO	% FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DO GRUPO	NÍVEL DE PRIORIZAÇÃO DA DIFICULDADE	DIFICULDADE VENCIDA?
CULTURAL	Baixo apoio e dedicação da liderança no processo de implantação	3	0,44	1,31	SIM
	Baixo entendimento sobre a Indústria 4.0	3	0,44	1,31	NÃO
	Crescimento Econômico baseado em mão de obra barata	1	0,44	0,44	NÃO
	Dúvidas sobre o benefício econômico dos investimentos digitais	3	0,44	1,31	NÃO
	Falta de cultura digital	2	0,44	0,88	NÃO
	Problemas com a redução de oportunidades de emprego	1	0,44	0,44	SIM
	Relutância ao implantar a Indústria 4.0	2	0,44	0,88	SIM
GRAU DE DIFICULDADE					60%
ESTRATÉGICO	Deficiência na visão e estratégia das operações digitais	2	0,25	0,50	NÃO
	Falta de competência na aplicação de novos modelos de negócio	2	0,25	0,50	NÃO
	Problema de coordenação e colaboração cliente-fornecedor	1	0,25	0,25	NÃO
	Restrições financeiras	3	0,25	0,75	NÃO
GRAU DE DIFICULDADE					100%
POLÍTICAS/PLANOS GOVERN.	Deficiência em Pesquisa e desenvolvimento (P&D)	3	0,13	0,38	NÃO
	Falta de suporte e apoio governamentais	2	0,13	0,25	NÃO
GRAU DE DIFICULDADE					100%
TECNOLÓGICO/ INFRAESTRUTURA	Falta de infraestrutura e redes baseadas na internet	3	0,19	0,56	NÃO
	Falta de integração de plataformas de tecnologia	2	0,19	0,38	NÃO
	Falta de padronização dos dados	2	0,19	0,38	NÃO
GRAU DE DIFICULDADE					100%

Com isso, observa-se que o grau de dificuldade do grupo “Cultural” foi reduzido a 60%, tendo influência do peso de cada dificuldade.

- **PRIORIZAR AS DIFICULDADES A SEREM VENCIDAS**

Considerando somente as dificuldades a serem vencidas, pode-se priorizar a resolução das mesmas, de acordo com a ferramenta para definir o nível de priorização da dificuldade.

Dentre as dificuldades restantes, prioriza-se primeiramente pelo nível de importância da resolução. Portanto, são selecionadas as dificuldades cujo nível de importância da resolução é 3 (Alto), sendo “Baixo entendimento sobre a Indústria 4.0”, “Dúvidas sobre o benefício econômico dos investimentos digitais”, “Restrições financeiras”, “Deficiência em Pesquisa e

Desenvolvimento (P&D)” e “Falta de infraestrutura e redes baseadas na internet”.

Após esse filtro, para definir a priorização para resolução das dificuldades, considera-se o percentual de frequência de ocorrência do grupo. Nesse nível, o grupo “Cultural” representa 44% das dificuldades, o grupo “Estratégico” representa 25%, o grupo “Tecnológico/ Infraestrutura” representa 19% e, por fim, o grupo “Planos/ Políticas Governamentais” representa 13% das dificuldades.

Sendo assim, por pertencerem ao grupo “Cultural”, as dificuldades “Baixo entendimento sobre a Indústria 4.0” e “Dúvidas sobre o benefício econômico dos investimentos digitais” devem ser resolvidas primeiramente, seguidas da dificuldade “Restrições financeiras” (grupo “Estratégico”), que por sua vez precede a resolução da dificuldade “Falta de infraestrutura e redes baseadas na internet” (grupo “Tecnológico/ Infraestrutura”). A dificuldade “Deficiência em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)”, pertencente ao grupo “Planos/ Políticas Governamentais” será a última a ser priorizada, dentre as dificuldades classificadas como 3 (Alto) no nível de importância da resolução.

Passando para as dificuldades cujo nível de importância da resolução foi classificado como 2 (Médio) pelos profissionais de campo, seguindo a mesma lógica das dificuldades anteriores, a ordem de priorização deverá ser, respectivamente: “Falta de cultura digital”, “Deficiência na visão e estratégia das operações digitais” e “Falta de competência na aplicação de novos modelos de negócio”, “Falta de integração de plataformas de tecnologia” e “Falta de padronização dos dados”, por fim, “Falta de suporte e apoio governamentais”.

Por último, as dificuldades “Crescimento Econômico baseado em mão de obra barata” e “Problema de coordenação e colaboração cliente-fornecedor” deverão ser resolvidas, respectivamente.

A Figura 33 ilustra o esquema de priorização das dificuldades.



FIGURA 33 – ESQUEMA DE PRIORIZAÇÃO DAS DIFICULDADES

• **ANALISAR E SELECIONAR AS PROPOSTAS PARA A RESOLUÇÃO DAS DIFICULDADES PRIORIZADAS**

Tendo a priorização das dificuldades a serem resolvidas, a empresa deve analisar as propostas de solução das dificuldades de acordo com o Quadro 11 já discutido.

Sendo assim, a próxima etapa a ser realizada é a tomada das ações conforme as soluções propostas pelo modelo.

• **TOMAR AÇÕES NECESSÁRIAS PARA VENCER AS DIFICULDADES**

Com o intuito de prosseguir a etapa de avaliação do Método para priorizar e propor soluções, um cenário de resolução das dificuldades é criado onde será levada em consideração a hipótese de que a empresa tratará das cinco primeiras dificuldades priorizadas. Com isso, as ações sugeridas para a empresa tomar estão elencadas no Quadro 13.

QUADRO 13 – AÇÕES A SEREM TOMADAS PELA EMPRESA

DIFICULDADES	AÇÕES A SEREM TOMADAS
Baixo apoio e dedicação da liderança no processo de implantação	- Treinamentos e conscientização da liderança; - Promover Coaching com a alta liderança; - Inserção de metas relacionadas à Indústria 4.0 na avaliação profissional dos líderes.
Dúvidas sobre o benefício econômico dos investimentos digitais	- Organizar palestras, treinamentos e workshops sobre Indústria 4.0; - Realizar Benchmarking em empresas desenvolvendo Indústria 4.0; - Solicitar estudos de viabilidade financeira a fornecedores de tecnologia para Indústria 4.0; - Considerar custos virtuais e custos evitados.
Restrições financeiras	- Realizar um plano diretor priorizando os investimentos; - Buscar parcerias com indústrias do ramo ou demais unidades do mesmo grupo (se aplicável) visando redução no custo de fornecedores das tecnologias; - Incentivar criação de Startups com funcionários da própria empresa - Buscar aporte em órgãos competentes do governo; - Contatar instituições financeiras para aquisição de equipamentos; - Buscar empresas cujo modelo de fornecimento é SaaS (Software as a Service).
Falta de infraestrutura e redes baseadas na internet	- Investimentos em infraestrutura baseado no carregamento de dados em nuvem ao invés de servidores físicos; - Integração via VPN; - Acompanhar a Implementação da tecnologia 5G; - Buscar parcerias (criar SPE) com empresas de telecomunicações locais; - Implementar aplicações de Edge Computing.
Deficiência em Pesquisa e desenvolvimento (P&D)	- Realizar parcerias com universidades e instituições de ensino; - Desenvolver programas de treinamento e multiplicação interna de conhecimento para demais funcionários (inserir funcionários de outra unidades do grupo, se aplicável); - Organizar Hackathons.

- **ANALISAR E ACOMPANHAR O IMED**

Nessa etapa, para que a empresa saiba como tem sido a evolução da resolução das dificuldades em seu contexto, deve-se acompanhar o Índice de Monitoramento da Evolução das Dificuldades (IMED).

Para isso, baseado na hipótese de que a empresa venceu as cinco dificuldades elencadas na seção anterior, tem-se o resultado do IMED de acordo com a Figura 34.

Com a resolução das cinco dificuldades, pode-se perceber que o grau de dificuldade do grupo “Cultural” reduziu para 20%. No grupo “Estratégico” o grau de dificuldade resultou em 63%. Já nos grupos “Políticas/ Planos Governamentais” e “Tecnológico/ Infraestrutura” o grau de dificuldade foi reduzido para 40% e 57%, respectivamente.

Com isso, o Índice de Monitoramento da Evolução das Dificuldades, considerando todas as dificuldades inerentes ao Nível 0 (Digitalização – Informatização e Conectividade) é de 40,1%. Esse índice será aumentado de acordo com a resolução das demais dificuldades.

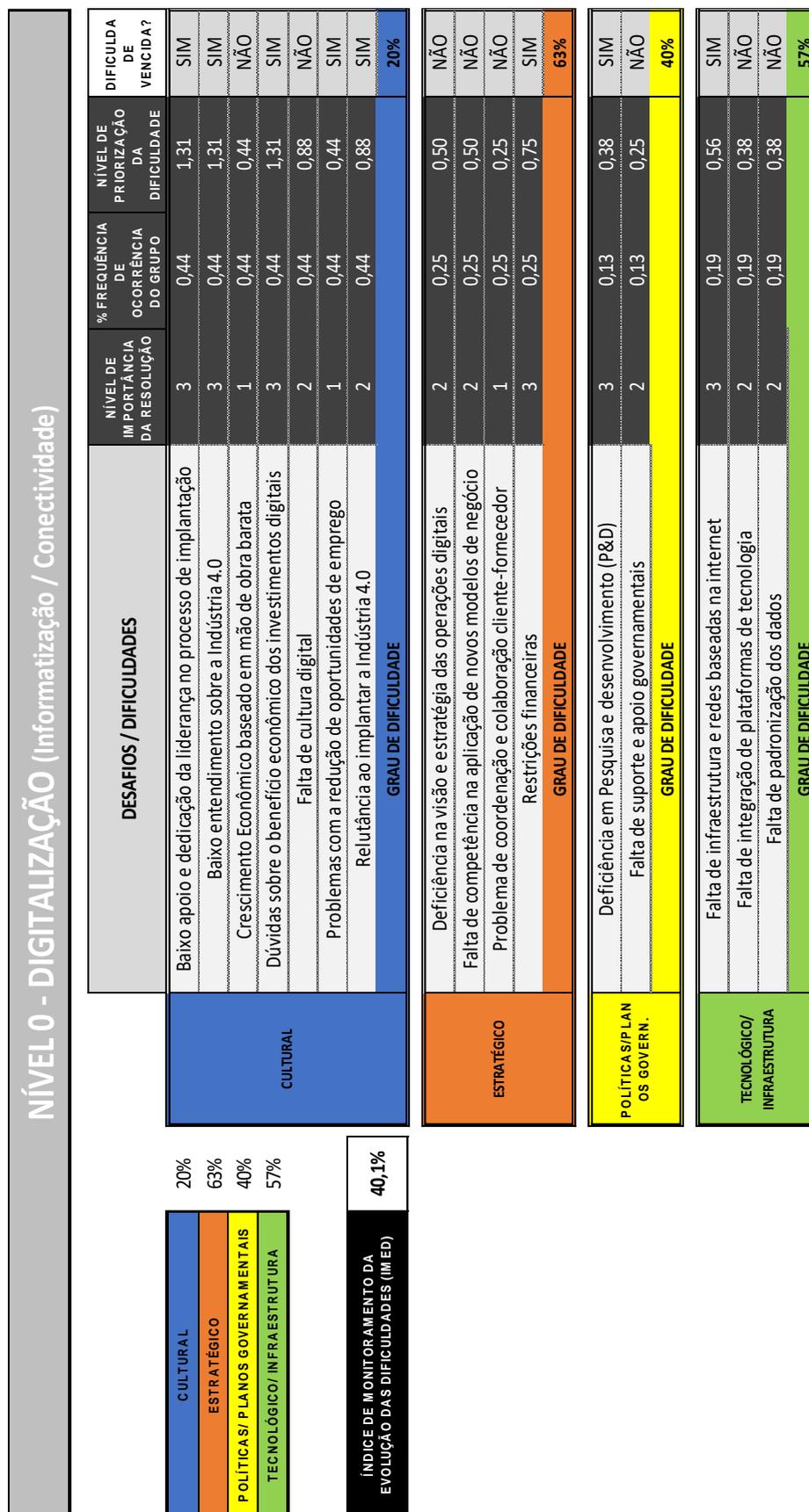


FIGURA 34 – ANÁLISE E ACOMPANHAMENTO DO IMED

Gerar relatório é a última etapa da condução do estudo de caso, onde a conclusão do estudo de caso é sintetizada e apresentada, levando em consideração o estreitamento entre a teoria e os resultados. No caso desta pesquisa, considera-se a própria Tese como relatório gerado.

De acordo com as etapas de aplicação do método, o mesmo foi executado de forma lógica e de fácil entendimento, sendo concluído de maneira satisfatória. Com isso, atende-se aos objetivos de pesquisa, mesmo que cenários hipotéticos tenham sido criados, mas garantindo que a aplicação do método proposto fosse concluída.

A empresa foi direcionada, de fato, à priorização e à tomada de ações pertinentes a fim de solucionar as dificuldades encontradas no processo de implantação da Indústria 4.0.

Quanto à estrutura de replicação do método, a mesma será demonstrada na próxima seção.

4.3.5. ETAPA DE FINALIZAÇÃO

A etapa de finalização do ciclo de projeto é baseada nas definições da etapa de avaliação e tem como objetivo apresentar o método para priorizar e propor soluções para as dificuldades inerentes à implantação da Indústria 4.0.

Sendo assim, a partir das definições da etapa de avaliação, pode-se apresentar o método proposto de forma completa, ilustrado pela Figura 35.

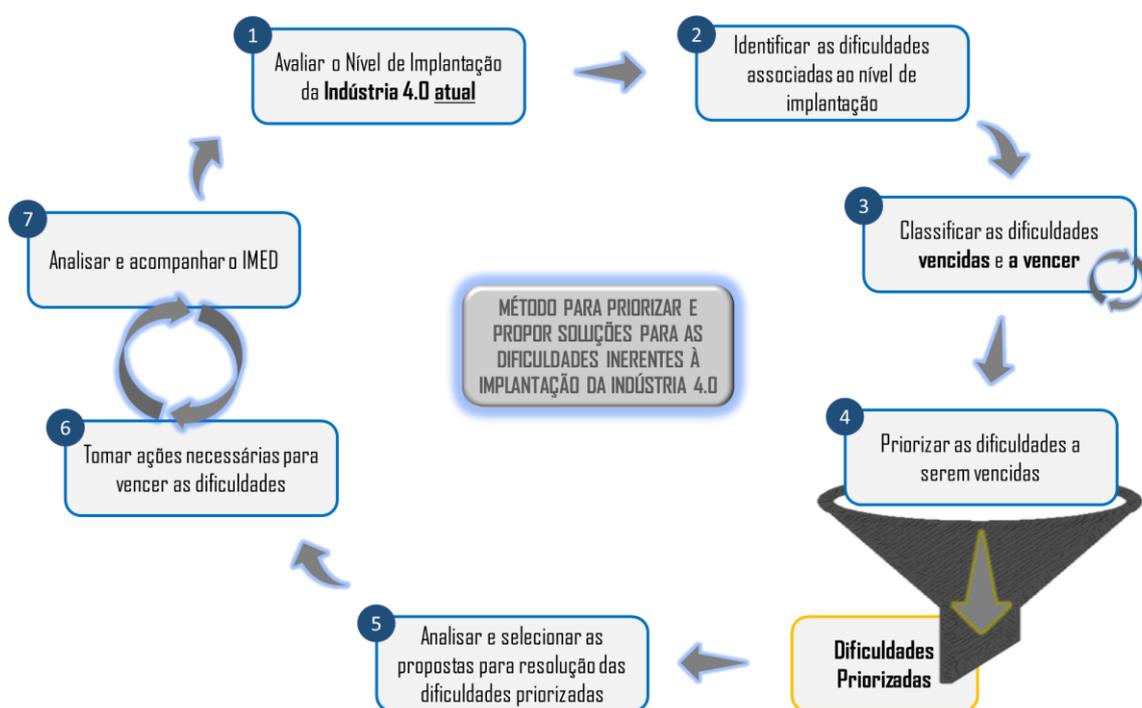


FIGURA 35 – MÉTODO PARA PRIORIZAR E PROPOR SOLUÇÕES PARA AS DIFICULDADES INERENTES À IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0

O método é composto por sete etapas iniciando pela etapa de avaliação do nível de implantação da Indústria 4.0, explorada na Seção 4.3.3.1, onde a empresa fará a avaliação do nível da Indústria 4.0 em que se encontra.

A etapa dois, discutida na Seção 4.3.3.2, tem o objetivo de analisar as dificuldades que estão associadas ao nível de implantação da Indústria 4.0 avaliado na etapa anterior.

Na etapa três a empresa deve classificar as dificuldades que já foram vencidas e as que ainda necessitam ser vencidas. Essa etapa deve ser recorrente à maneira com que as dificuldades forem vencidas, a fim de atualizar o IMED, calculado em etapa posterior.

A etapa quatro resume-se na verificação da priorização das dificuldades a serem vencidas. Essa etapa deve ser baseada nas Figuras 29, 30, 31, 32 e 33 (Seção 4.3.3.4) de acordo com o nível de implantação da Indústria 4.0 avaliado na etapa um do método. Como resultado dessa etapa, obtém-se as dificuldades priorizadas.

Filtrando as dificuldades priorizadas, a etapa cinco consiste na análise das propostas para resolução de tais dificuldades – as propostas são apresentadas no Quadro 10 da Seção 4.3.3.6.

Sugere-se à empresa tomar as ações necessárias para a resolução das dificuldades na etapa seis do método.

Por fim, a etapa sete equivale à análise e acompanhamento do Índice de Monitoramento da Evolução das Dificuldades (IMED). Deve haver repetição entre as etapas seis e sete, isto é, cada vez que uma dificuldade for vencida, o IMED é atualizado.

5. CONCLUSÕES

Este capítulo consiste na apresentação das principais conclusões desta pesquisa e suas principais contribuições.

A Indústria 4.0 é um tópico de pesquisa em expansão. Pode ser visto como a convergência de vários conceitos emergentes e novas tecnologias, como *Big Data* e *Analytics*, robôs autônomos, simulação, integração do sistema horizontal e vertical, Internet das Coisas (IoT), segurança cibernética, dados em nuvem, manufatura aditiva e realidade aumentada. Essas tecnologias estão reestruturando sistemas de produção inteiros, transformando fluxos de trabalho analógicos e centralizados em processos de produção digitais e descentralizado. Adicionalmente, reconhece-se que têm alto potencial para aumentar significativamente a produtividade e vantagem competitiva das empresas frente aos concorrentes.

Entretanto, muitas empresas têm enfrentado desafios ao implantar as tecnologias da Indústria 4.0 em suas instalações, tornando esse processo demasiadamente lento. Para que a implantação possa ocorrer de forma mais rápida e robusta, as empresas necessitam levar em consideração as dificuldades inerentes que podem enfrentar ao decorrer da trajetória.

Para isso, há a necessidade de identificar e estudar as dificuldades inerentes à implantação da Indústria 4.0. Foi desenvolvido um método que contempla todas essas dificuldades cujo intuito é realizar a priorização bem como o direcionamento de ações que as empresas podem tomar a fim de solucioná-las.

O objetivo desta tese foi propor um método para priorizar e propor soluções para as dificuldades inerentes à implantação da Indústria 4.0.

As etapas de desenvolvimento do método proposto foram executadas com a finalidade de garantir a validação científica. O método visa priorizar as

dificuldades identificadas, além de propor soluções para as mesmas baseadas em sugestões coletadas de profissionais da indústria e da academia por meio de um instrumento de coleta de dados. Foi possível também obter o nível de importância da resolução de cada dificuldade por meio dessa mesma maneira. Além disso, a empresa poderá analisar e acompanhar um indicador (IMED) o qual demonstra a evolução da empresa à maneira com que as dificuldades são resolvidas em determinado nível da Indústria 4.0.

Visando a validação científica do método, este foi executado e avaliado por meio de um estudo de caso em uma montadora de equipamentos agrícolas. Adicionalmente, utilizou-se de cenários hipotéticos para conduzir e concluir a validação de todo o método proposto. A etapa de avaliação foi concluída demonstrando a possível aplicação do método em qualquer empresa de manufatura, seja qual for o mercado de atuação.

Como retorno da empresa objeto do estudo de caso, foi apontado que o método tem aplicação coerente ao que se propõe, sendo percorrido com etapas claras e de fácil entendimento. Além disso, serviu como ferramenta para atualizar os profissionais quanto às implicações das dificuldades e suas resoluções no âmbito da Indústria 4.0.

Esta pesquisa contribui para o avanço da teoria (literatura) sobre as dificuldades inerentes à implantação da Indústria 4.0, pois a partir do levantamento das dificuldades, as mesmas foram minuciosamente estudadas quanto à sua descrição, relevância e consequências de não resolvê-las. Adicionalmente, a pesquisa permitiu criar uma lógica de priorização para resolução, bem como um acervo completo de sugestões para vencê-las.

Com isso, o método para priorizar e propor soluções se apresenta como uma importante ferramenta que pode ser aplicado como complemento e apoio aos modelos de implantação da Indústria 4.0 existentes na literatura, possibilitando a aceleração e assertividade na implementação e/ou evolução da Indústria 4.0, propiciando maior vantagem competitiva à organização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACATECH – National Academy of Science and Engineering (2013). “Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group”.

ADOLPH, S., TISCH, M., METTERNICH, J. (2014). “Challenges and approaches to competency development for future production”. *Educ. Altern.* 12, 1001–1010.

ALBUKHITAN, S. (2020). “Developing Digital Transformation Strategy for Manufacturing”. *Procedia Computer Scienc*, 170, 664–671.

ALMADA-LOBO, F. (2015). “The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES)”. *J. Innov. Manag.* 3(4), 16–21.

AGRIFOGLIO, R.; CANNAVALE, C.; LAURENZA, E.; METALLO, C. (2017). “How emerging digital technologies affect operations management through co-creation. Empirical evidence from the maritime industry”. *Production Planning and Control*, 28 (16), pp. 1298-1306.

ARNTZ, M., GREGORY, T., & ZIERAHN, U. (2016). “The Risk of automation”. *OECD Social, Employment and Migration Working Paper*.

AUSPIN – Agência USP de Inovação (2019). “O que significa hackathon?”. Universidade de São Paulo. Online: <http://www.inovacao.usp.br/o-que-significa-hackathon/>.

AWAIS, M.; HENRICH, D. (2013). “Human-robot interaction in an unknown human intention scenario”. 11th international conference on frontiers of information technology. pp. 89-94.

BAESENS, B., BAPNA, R., MARSDEN, J. R., VANTHIENEN, J., & ZHAO, J. L. (2016). “Transformational issues of big data and analytics in networked business”. *MIS Quarterly: Management Information Systems*, 40(4), pp. 807-818.

BAL, H. Ç., & ERKAN, Ç. (2019). “Industry 4.0 and Competitiveness”. In *Procedia Computer Science*. 158, 625–631.

BAUERNHANSL, T. (2014). “Komplexität bewirtschaften: Die Einführung von Industrie 4.0 in Produktionssysteme. mav Innovationsforum”. Universität Stuttgart. Online: http://www.mav-online.de/c/document_library.

BAUMEISTER, R. F.; LEARY, M. R. (1997). "Writing narrative literature reviews". *Review of general psychology*, v. 1, n. 3, p. 311.

BEDEKAR, A. (2017). "Opportunities & Challenges for IoT in India". Online: <http://www.startupcity.com/leaders-talk/-opportunities-challengesfor-iot-in-india-nid-3444.html>.

BERMAN, S. J. (2012). "Digital transformation: Opportunities to create new business models". *Strategy and Leadership*, 40(2), 16–24.

BIONI, B. R. (2019). "Proteção de dados pessoais: a função e os limites do consentimento". Editora Forense, Rio de Janeiro, RJ.

BOCK, M., WIENER, M. (2017). "Towards a Taxonomy of Digital Business Models – Conceptual Dimensions and Empirical Illustrations". ICIS 2017: Transforming Society with Digital Innovation.

BONKENBURT, T. (2016). „Robotics in Logistics. A DPDHL perspective on implications and use cases for the logistics industry“. DHL Trend Research.

BRANDER, J. A., DU, Q., HELLMANN, T. (2015). The effects of government-sponsored venture capital: International evidence. *Review of Finance*, 19, pp. 571–618.

BRANKE, J., FARID, S.S., SHAH, N. (2016). "Industry 4.0: a vision for personalized medicine supply chains". *Cell Gene Ther. Insights* 2 (2), 263–270.

BRAUDEL, F. (2009). "Civilização Material, Economia e Capitalismo: séculos XV-XVIII". Lisboa, Martins Fontes, 632 p.

BRICS Business Council (2017). "Skill development for industry 4.0. In: A White Paper by BRICS Skill Development Working Group". BRICS Business Council, India Group, Online: <http://www.globalskillsummit.com/WhitepaperSummary.pdf>

BRUNETTI, F., MATT, D.T., BONFANTI, A., DE LONGHI, A., PEDRINI, G., ORZES, G. (2020), "Digital transformation challenges: strategies emerging from a multi-stakeholder approach", *The TQM Journal*, Vol. 32 No. 4, pp. 697-724.

BUER, S.V.; STRANDHAGEN, J.O.; CHAN, F.T. (2018). "The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda". *Int. J. Prod. Res.*, 56 (8), pp. 2924-2940.

BUGHIN, J.; CHUI, M.; MANYIKA, J. (2010). "Clouds, big data, and smart assets: Ten tech-enabled business trends to watch". *The McKinsey Quarterly*, 56 (1), pp. 75-86.

CAI, L., ZHU, Y. (2015). "The challenges of data quality and data quality assessment in the big data era". *Data Science Journal*, 14(2), pp. 1-10.

ÇAĞDAŞ, V., STUBKJÆR, E. (2011). "Design research for cadastral systems". *Computers, Environment and Urban Systems*. 35 (1), 77-87.

CASTELLACCI, F., NATERA, J. (2013). "The dynamics of national innovation systems: a panel cointegration analysis of the coevolution between innovative capability and absorptive capacity". *Res. Pol.* 42, 579–594.

CHAKRABARTI, A. (2010). "A course for teaching design research methodology". *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*. 24 (1), 317-334.

CHEN, S., XU, H., LIU, D., HU, B., WANG, H. (2014). "A vision of IoT: applications, challenges, and opportunities with china perspective". *IEEE Internet Things J.* 1 (4), 349–359.

CHIEN, C-F., HONG, T-Y., GUO, H-Z. (2017). "A Conceptual Framework for "Industry 3.5" to Empower Intelligent Manufacturing and Case Studies". *Procedia Manufacturing*. 11, 2009–2017.

CHOPRA, S., MEINDL, P. (2010). "Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation". 3rd ed. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

CNI – Confederação Nacional da Indústria (2019). "Cinco em cada dez indústrias enfrentam a falta de trabalhador qualificado". Disponível online: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/competitividade/industrias-enfrentam-falta-de-trabalhador-qualificado/#>. Acessado em 27/03/2020.

COMDESK Tecnologia (2020). "Infraestrutura em TI". Disponível online: <http://www.comdesk.com.br/servicos-e-solucoes/infraestrutura-de-ti>. Acessado em 20/03/2020. Acessado em: 19/03/2020.

CRISÓSTOMO, V.L., LÓPEZ-ITURRIAGA, F.J., VALLELADO, E. (2011). "Financial constraints for innovation in Brazil". *Lat. Am. Bus. Rev.* 12, 165–185.

CRISTIAN, B., KLAUS, J. C., ZOLTAN, E., & LYDIA, H. S. M. (2019). "Approaches for the planning and implementation of Industry 4.0". *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 7(1), 375–380.

CITISYSTEMS (2016). "O Que é Indústria 4.0 e Como Ela Vai Impactar o Mundo". Acesso ao site www.citisystems.com.br em 12/07/2016.

DALENOGARE, L. S., BENITEZ, G. B., AYALA, N. F., FRANK, A. G. (2018). "The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance". *International Journal of Production Economics*, 204, 383-394.

DALMARCO, G., RAMALHO, F. R., BARROS, A. C., & SOARES, A. L. (2019). "Providing industry 4.0 technologies: The case of a production technology cluster". *The Journal of High Tech. Management Research*, 30 (2), p. 100355.

DAWSON, T. (2014). "Industry 4.0 Opportunities and Challenges for Smart Manufacturing". Online: <http://blog.ihs.com/q13-industry-40-opportunitiesand-challenges-for-smart-manufacturing>.

DE WAAL, B., VAN OUTVORST, F., & RAVESTEYN, P. (2016). "Digital Leadership: The Objective - Subjective Dichotomy of Technology Revisited". ECMLG 2016 - Proceedings of the 12th European Conference on Management.

DUARTE, S., CRUZ-MACHADO, V. (2017). "Exploring linkages between lean and green supply chain and the industry 4.0". *International Conference on Management Science and Engineering Management*, Springer, Cham, July, pp. 1242–1252.

DURHAM, T., FROSS, T., ROSETHORNE, H. (2020). "Catalysts: The Cultural Levers of Growth in the Digital Age: A global research report". Prophet.

EISENHARDT, K. M. (1989). "Building theories from case study research". *The Academy of Management Review*, v.14, n. 4, p. 532-550.

EROL, S., SCHUMACHER, A., SIHN, W. (2016). "Strategic guidance towards Industry 4.0 – a three-stage process model". *Proc. of International Conference on Competitive Manufacturing (COMA16)*, Stellenbosch, South Africa.

EZE, A. O., E, C.C. (2018). "Malware Analysis and Mitigation in Information Preservation". *Journal of Computer Engineering*, 20(4), pp. 53-62.

FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (2018). "Fiesp identifica desafios da indústria 4.0 no brasil e apresenta propostas". Disponível online: <https://www.fiesp.com.br/noticias/fiesp-identifica-desafios-da-industria-4-0-no-brasil-e-apresenta-propostas/>. Acessado em 27/03/2020.

FILIERI, R. (2015). "What makes online reviews helpful? A diagnosticity-adoption framework to explain informational and normative influences in e-WOM". *Journal of Business Research*, 68, 1261–1270.

FINKELSTEIN, J., NEWMAN, D. (1984). "The third industrial revolution: a special challenge to managers". *Organizational Dynamics*, 13(1):53-65.

FRANK, A.G., CORTIMIGLIA, M.N., RIBEIRO, J.L.D., OLIVEIRA, L.S. DE. (2016). "The effect of innovation activities on innovation outputs in the Brazilian industry: market-orientation vs. technology-acquisition strategies". *Res. Pol.* 45, 577–592.

FRANK, A. G., DALENOGARE, L. S., & AYALA, N. F. (2019). "Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies". *International Journal of Production Economics*, 210, 15–26.

FREY, C. B., & OSBORNE, M. A. (2017). "The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?". *Technological Forecasting and Social Change*. 114, 254–280.

GÁBOR A., SZABÓ I., AHMED F. (2018). "Systematic Analysis of Future Competences Affected by Industry 4.0". *Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems. CONFENIS 2017. Lecture Notes in Business Information Processing*, vol 310. Springer, Cham.

GAIDARGI, Juliana (2018). "Infraestrutura de Ti". Disponível online: <https://www.infonova.com.br/artigo/infraestrutura-de-ti/>. Acessado em 20/03/2020.

GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. (2014). "Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração". *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 23, n. 1, p. 183-184.

GANZARAIN, J., ERRASTI, N. (2016). Three Stage Maturity Model in SME's towards Industry 4.0. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 5, 1119-1128.

GASSMANN, O., FRANKENBERGER, K., CSIK, M. (2014). "The Business Model Navigator: 55 Models that Will Revolutionise Your Business". Pearson, Harlow.

GHASEMAGHAEI, M., HASSANEIN, K., TUREL, O. (2017). "Increasing firm agility through the use of data analytics: The role of fit". *Decision Support Systems*, 101, 95–105.

GHASEMAGHAEI, M. (2019). "Does data analytics use improve firm decision-making quality? The role of knowledge sharing and data analytics competency". *Decision Support Systems*, Systems 120, 14–24.

GIL, A. (1996). "Como elaborar projetos de pesquisa". Editora Atlas, São Paulo.

GITTLER, T., GONTARZ, A., WEISS, L., WEGENER, K. (2019). "A fundamental approach for data acquisition on machine tools as enabler for analytical Industrie 4.0 applications". *Procedia CIRP*, 9, 586–591

GLOVA, J., SABOL, T. and VAJDA, V. (2014). "Business Models for the Internet of Things Environment". *Procedia Economics and Finance*, 15, 1122-1129.

GÖKALP, E., ŞENER, U., & EREN, P. E. (2017). "Development of an assessment model for industry 4.0: Industry 4.0-MM". *Communications in Computer and Information Science*.

GÖLZER, P., FRITZSCHE, A. (2017). "Data-driven operations management: Organisational implications of the digital transformation in industrial practice". *Production Planning and Control*, 28 (16) (2017), pp. 1332-1343.

GROTE, G.; WEYER, J.; STANTON, N.A. (2014). "Beyond human-centred automation – Concepts for human–machine interaction in multi-layered networks". *Ergonomics*, 57 (3), pp. 289-294.

GRÜNERT, L., SEJDIĆ, G. (2017). "Industrie 4.0-getriebene Geschäftsmodellinnovationen im Maschinenbau am Beispiel von TRUMPF". *Betriebswirtschaftliche Aspekte von Industrie 4.0*, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden (2017), pp. 29-45.

GUBBI, J., BUYYA, R., MARUSIC, S., PALANISWAMI, M. (2013). "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions". *Futur. Gener. Comput. Syst.* 29, 1645–1660.

HAJRIZI, E. (2016). "Smart Solution for Smart Factory". *IFAC-PapersOnLine*. 20(29), 1–5.

HALL, B., MAFFIOLI, A. (2008). "Evaluating the impact of technology development funds in emerging economies: evidence from Latin America". *Eur. J. Dev. Res.* 20, 172–198.

HENKE, N, Libarikian, A., Wiseman, B. (2016). "Straight Talk About Big Data". McKinsey & Company. Disponível online: <http://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/straight-talk-about-big-data>. Acessado em 19/03/2020.

HERMANN, C., SCHMIDT, D., KURLE, S., & THIEDE, S. (2014). Sustainability in Manufacturing and Factories of the Future. *International Journal of precision engineering and manufacturing-green technology*, 1, 283-292.

HERMANN, M., PENTEK, T., OTTO, B. (2016), "Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review", *Technische Universität Dortmund*, 1(1), 4–16.

HEVNER, A. A. (2007), "A three cycle view of design science research", *Scandinavian Journal of Information Systems*, 19 (1), 87-92.

HEVNER, A., MARCH, S., PARK, J. (2004), "Design science in information systems research". *MIS Quarterly*, 28 (1), 75-105.

HIDAYATNO, A., DESTYANTO, A. R., & HULU, C. A. (2019). "Industry 4.0 technology implementation impact to industrial sustainable energy in Indonesia: A model conceptualization". *Energy Procedia*, 156, 227–233.

HOBBSAWN, E. J. (2011). "Da Revolução Industrial Inglesa ao Imperialismo". 4th ed., Rio de Janeiro, Forense-Universitária, 349p.

HOESCHL, M. B., BUENO, T. C. D., & HOESCHL, H. C. (2017). "Fourth Industrial Revolution and the future of Engineering: Could Robots Replace Human Jobs? How Ethical Recommendations can Help Engineers Rule on Artificial Intelligence". In *Proceedings - 7th World Engineering Education Forum, WEEF*.

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

HOYER, C., GUNAWAN, I., REAICHE, C. (2020). "The Implementation of Industry 4.0 – A Systematic Literature Review of the Key Factors". *Systems Research and Behavioral Science*, 1-22.

HUBER, W. (2016). "Industrie 4.0 in der Automobilproduktion: Ein Praxisbuch". Wiesbaden, Germany: Springer Vieweg.

HORVÁTH, D., & SZABÓ, R. Z. (2019). "Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities?" *Technological Forecasting and Social Change*, 146, 119–132.

HUANG, C.-J., TALLA CHICOMA, E., & HUANG, Y.-H. (2019). "Evaluating the Factors that are Affecting the Implementation of Industry 4.0 Technologies in Manufacturing MSMEs, the Case of Peru". *Processes*, 7, 161.

IBARRA, D., GANZARAIN, J., & IGARTUA, J. I. (2018). "Business model innovation through Industry 4.0: A review". *Procedia Manufacturing*, 22, 4–10.

IBM (2018). "Cost of data breach study: Impact of Business Continuity Management". Ponemon Institute LLC.

INGIRIGE, B.; AOUAD, G.; SUN, M. (2001). "Awareness of information standardisation in the UK construction industry: A preliminary survey by the SIENE Network". *Construction IT Africa, Mpumalanga*.

INSTRUMATIC (2011). "Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados". Disponível online: <https://www.instrumatic.com.br/artigo/sistemas-de-supervisao-e-aquisicao-de-dados> Acessado em 19/03/2020.

INTHURN C. (2020). "Indústria 4.0: Big Data, Internet das Coisas e mão de obra especializada". Disponível online: <http://inovar-asc.com.br/industria-4-0-big-data-internet-das-coisas-e-mao-de-obra-especializada/>. Acessado em 27/03/2020.

ISMAIL, M. H., KHATER, M., ZAKI, M. (2017). "Digital Business Transformation and Strategy: What Do We Know So Far?". University of Cambridge, Working Paper ITWeb IoT Survey.

JACOSKI, C.A., LAMBERTS, R. (2003). "A padronização de dados para comunicação e transferência de informação junto a projetos de construção civil". III Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, São Carlos.

JANSSEN, M., VAN DER VOORT, H., WAHYUDI, A. (2017). "Factors influencing big data decision-making quality". *Journal of Business Research*, 70, 338–345

JAZDI, N. (2014) "Cyber Physical Systems in the Context of Industry 4.0". IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing.

JESCHKE, S., BRECHER, C., MEISEN, T., ÖZDEMİR, D., ESCHERT, T. (2017). "Industrial internet of things and cyber manufacturing systems". *Industrial Internet of Things*, pp. 3–19.

KAGERMANN, H., WAHLSTER, W.; HELBIG, J. (2013). "Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0", München.

KAMBLE, S. S., GUNASEKARAN, A.; SHARMA, R. (2018). "Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry". *Computers in Industry*, 101, 107–119.

KASPAR, S.; SCHNEIDER, M. (2015). "Lean Und Industrie 4.0 in Der Intralogistik: Effizienzsteigerung Durch Kombination Der Beiden Ansätze." *Productivity Management* 20 (5): 17–20.

KETTELER, D.; KÖNIG, C. (2017). "Lean 4.0 – Schlank durch Digitalisierung". Frankfurt am Main, Germany: BearingPoint GmbH.

KHAN, M., WU, X., XU, X., & DOU, W. (2017). "Big data challenges and opportunities in the hype of Industry 4.0". IEEE International Conference on Communications, pp. 1–6.

KHANCHANAPONG, T.; PRAJOGO, D.; SOHAL, A. S.; COOPER, B. K.; YEUNG, A. C. L; CHENG, T. C. E. (2014). "The Unique and Complementary Effects of Manufacturing Technologies and Lean Practices on Manufacturing Operational Performance." *International Journal of Production Economics* 153: 191–203.

KIEL, D., MÜLLER, J., ARNOLD, C., VOIGT, K.I. (2017). "Sustainable industrial value creation: benefits and challenges of Industry 4.0". ISPIIM Innovation Symposium, The International Society for Professional Innovation Management (ISPIIM). June, p.1.

KOHL, A., ZONATTO, V. (2011). "Importância e impacto do Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) para a empresa Alfa S/A". VIII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia.

KOLBERG, D.; ZÜHLKE, D. (2015). "Lean Automation Enabled by Industry 4.0 Technologies." IFAC-PapersOnLine 48 (3): 1870–1875.

KÖRNER, M. F., BAUER, D., KELLER, R., RÖSCH, M., SCHLERETH, A., SIMON, P., BAUERNHANSL, T., FRIDGEN, G.; REINHART, G. (2019). "Extending the automation pyramid for industrial demand response". Procedia CIRP., 81, 998–1003.

KÖTHER, R.; MEIER, K.-J. (2017). "Lean Production für die variantenreiche Einzelfertigung: Flexibilität wird zum neuen Standard". Wiesbaden, Germany: Springer Fachmedien Wiesbaden.

KRISHNAN, K. (2013). "Data Warehousing in the Age of Big Data". Burlington, MA: Morgan Kaufmann.

KÜNZEL, H. (2016). "Erfolgsfaktor Lean Management 2.0: Wettbewerbsfähige Verschlinkung auf nachhaltige und kundenorientierte Weise". Berlin/Heidelberg, Germany: Springer Gabler.

KÜPPER, D. (2019). "Embracing Industry 4.0 and Rediscovering Growth". Boston Consulting Group. Online: <https://www.bcg.com/en-gb/capabilities/operations/embracing-industry-4.0-rediscovering-growth.aspx>.

LACERDA, D. P., DRESCH, A., PROENÇA, A., ANTUNES, J. A. V. (2013). "Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção". Gestão e Produção, São Carlos, 20 (4), p. 741-761.

LAI, Y.L., LIN, F.J. AND LIN, Y.H. (2015), "Factors affecting firm's R&D investment decisions", Journal of Business Research, Vol. 68 No. 4, pp. 840-844.

LAU, A.K.W.; YAM, R.C.M.; TANG, E.P.Y. (2010). "Supply chain integration and product modularity". International Journal of Operations & Production Management, 30 (1), pp. 20-56.

LAUDIEN, S. M., DAXBÖCK, B. (2016). "The influence of the industrial internet of things on business model design: A qualitative-empirical analysis". International Journal of Innovation Management. 20 (8), 1640014-1-28.

LAUREIJS, R.E.; ROCA, J.B.; NARRA, S.P.; MONTGOMERY, C.; BEUTH, J.L.; FUCHS, E.R.H. (2017). "Metal additive manufacturing: Cost competitive beyond low volumes". *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 139 (8), Article 081010.

LEE, J., KAO, H.A., YANG, S. (2014). "Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment". *Procedia CIRP* 16, 3–8.

LEE, D. (2020). "The role of R&D and input trade in productivity growth: innovation and technology spillovers". *The Journal of Technology Transfer*, 45, 908–928

LEITÃO, P., COLOMBO, A.W., KARNOUSKOS, S. (2016). "Industrial automation based on cyber-physical systems technologies: prototype implementations and challenges". *Comput. Ind.* 81, 11–25.

LEVY, Y.; ELLIS, T. J. (2006). "A systems approach to conduct an effective literature review in support of information systems research". *Informing Science*, v. 9.

LI, F. (2018). "The digital transformation of business models in the creative industries: A holistic framework and emerging trends". *Technovation*, 92-93.

LINS, T., OLIVEIRA, R. A. R., CORREIA, L. H. A., & SILVA, J. S. (2019). "Industry 4.0 retrofitting". *Brazilian Symposium on Computing System Engineering, SBESC, 2018–November*, 8–15.

LIU, J., LI, T., XIE, P., DU, S., TENG, F., & YANG, X. (2020). "Urban big data fusion based on deep learning: An overview". *Information Fusion*, 53, 123–133.

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

LUND, H. B., & KARLSEN, A. (2020). "The importance of vocational education institutions in manufacturing regions: adding content to a broad definition of regional innovation systems". *Industry and Innovation*. 27(6), 660–679.

MACHADO, C. G., WINROTH, M., CARLSSON, D., ALMSTRÖM, P., CENTERHOLT, V., & HALLIN, M. (2019). "Industry 4.0 readiness in manufacturing companies: Challenges and enablers towards increased digitalization". *Procedia CIRP*, 81, 1113–1118.

MCMAHON, T. (2013). "Top 10 reason why Lean transformation fails". Disponível online: <http://www.aLeanjourney.com/2013/05/top-10-reason-why-Lean-transformation.html>. Acessado em: 27/03/2020.

MANSON, N. (2006). "Is operations research really research?". *Orion*, 22 (2), 155-180.

MARCH, S., SMITH, G. (1995). "Design and natural science research on information technology". *Decision Support Systems*, 21 (4), 417–432.

MARCONI, M. D. A.; LAKATOS, E. M. (1996). "Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados". 3.ed. São Paulo: Atlas.

MARDOYAN, A., BRAUN, P. (2015). "Analysis of czech subsidies for solid biofuels". *International Journal of Green Energy*, 12(4), 405-408.

MARODIN, G.A., FRANK, A.G., TORTORELLA, G.L., SAURIN, T.A. (2016). "Contextual factors and lean production implementation in the Brazilian automotive supply chain". *Supply Chain Manag. An Int. J.* 21, 417–432.

MARODIN, G.A., TORTORELLA, G.L., FRANK, A.G., GODINHO FILHO, M. (2017). "The moderating effect of Lean supply chain management on the impact of Lean shop floor practices on quality and inventory". *Supply Chain Manag. An Int. J.* 22, 473–485.

MAROUFKHANI, P., WAN ISMAIL, W. K., & GHOBAKHLOO, M. (2020). "Big data analytics adoption model for small and medium enterprises". *Journal of Science and Technology Policy Management*, 54, 102190.

MARQUES, M., AGOSTINHO, C., ZACHAREWICZ, G., JARDIM-GONÇALVES, R. (2017). "Decentralized decision support for intelligent manufacturing in Industry 4.0". *J. Ambient Intell. Smart Environ.* 9 (3), 299–313.

MARSTON, S.; LI, Z.; BANDYOPADHYAY, S.; ZHANG, J.; GHALSASI, A. (2011). "Cloud computing — The business perspective". *Decision Support Systems*, 51 (1), pp. 176-189.

MATT, C., HESS, T., BENLIAN, A. (2015). "Digital Transformation Strategies". *Business and Information Systems Engineering*. 57(5), 339–343.

MATTAR, F. N. (1996). "Pesquisa de marketing: edição compacta". São Paulo: Atlas.

MCLEOD, R.W. (2017). "Human factors in barrier management: hard truths and challenges". *Process Saf. Environ. Protect.* 110, 31–42.

MEGA sistemas corporativos (2018). "Conheça os principais tipos de integração de sistemas". Disponível online: <https://www.mega.com.br/blog/>

conheca-os-principais-tipos-de-integracao-de-sistemas-9192/. Acessado em: 20/03/2020.

MEGAHED, F.M.; JONES-FARMER, L.A. (2013). "A statistical process monitoring perspective on "big data", *Frontiers in statistical quality control*". Springer, New York.

MEMMI, D. (2014). "Information technology as social phenomenon". *AI & Society*, 29(1):75-83.

MIGUEL, P. A. C. (2007). "Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução". *Production*. v. 17, n. 1, p. 216-229.

MIHARDJO, L. W. W., SASMOKO, S., ALAMSJAH, F., & ELIDJEN, E. (2019). "Digital leadership role in developing business model innovation and customer experience orientation in industry 4.0". *Management Science Letters*.

MINERVA, R., BIRU, A., ROTONDI, D. (2015). "Towards a definition of the Internet of Things (IoT)". *IEEE Internet Things*, 86.

MININA, A., & MABROUK, K. (2019). "Transformation of University Communication Strategy in Terms of Digitalization". In *Proceedings of the 2019 IEEE Communication Strategies in Digital Society Seminar, ComSDS 2019*.

MIRANDA, William (2017). "Modelagem de Dados: O que é e para que serve para um DBA". Disponível online: <https://www.portalgsti.com.br/2017/02/modelagem-de-dados-o-que-e-e-para-que-serve-para-um-dba.html>. Acessado em 19/03/2020.

MOICA, S., GANZARAIN, J., IBARRA, D., & FERENCZ, P. (2018). "Change made in shop floor management to transform a conventional production system into an "Industry 4.0": Case studies in SME automotive production manufacturing". *7th International Conference on Industrial Technology and Management*, 51 – 56.

MOKTADIR, M. A., ALI, S. M., KUSI-SARPONG, S., & SHAIKH, M. A. A. (2018). "Assessing challenges for implementing Industry 4.0: Implications for process safety and environmental protection". *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 730–741.

MUHURI, P. K.; SHUKLA, A. K.; ABRAHAM, A. (2019). "Industry 4.0: A bibliometric analysis and detailed overview". *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 78, 218–235.

MÜLLER, J., VOIGT, K.-I. (2017). "Industry 4.0- integration strategies for SMEs". International Association for Management of Technology, IAMOT 2017 Conference Proceedings, (Vienna).

MÜLLER, J., DOTZAUER, V., & VOIGT, K. (2017a). "Industry 4.0 and its Impact on Reshoring Decisions of German Manufacturing Enterprises". In Supply Management Research, pp. 165–179.

MÜLLER, J. M., MAIER, L., VEILE, J., & VOIGT, K.-I. (2017b). "Cooperation strategies among SMEs for implementing Industry 4.0". Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL), pp. 301–318.

NAKATA, C., WEIDNER, K. (2012). "Enhancing new product adoption at the base of the pyramid: a contextualized model". J. Prod. Innovat. Manag. 29, 21–32.

NAMASUDRA, S., DEVI, D., KADRY, S., SUNDARASEKAR, R., SHANTHINI, A. (2020). "Towards DNA based data security in the cloud computing environment". Computer Communications, 151, 539–547.

NICOLETTI, B. (2013). "Lean and Automate Manufacturing and Logistics". Advances in Production Management Systems, APMS 2013, 278–285.

NICOLETTI, B. (2018). "The future: procurement 4.0". Agile Procurement. Palgrave Macmillan, Cham, pp. 189–230.

NIGHTINGALE, D. J.; MIZE, J. H. (2002). "Development of a lean enterprise transformation maturity model", Information Knowledge Systems Management, vol. 3, 2002, no. 1, pp. 15-30.

NISHIMURA, J., OKAMURO, H. (2011). "Subsidy and networking: The effects of direct and indirect support programs of the cluster policy". Research Policy, 40, 714–727.

NOVAKOVA, L. (2020). "The impact of technology development on the future of the labour market in the Slovak Republic". Technology in Society. 62, 101256.

OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development (2017). "The next production revolution: A report for the G20".

OESTERREICH, T. D., & TEUTEBERG, F. (2016). "Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry". Computers in Industry, Vol. 83, pp. 121–139.

OETTMEIER, K.; HOFMANN, E. (2017). "Additive manufacturing technology adoption: An empirical analysis of general and supply chain-related determinants". *Journal of Business Economics*, 87 (1), pp. 97-124.

OLAVARRIETA, S., VILLENA, M.G. (2014). "Innovation and business research in Latin America: an overview". *J. Bus. Res.* 67, 489–497.

OSTERWALDER, A., PIGNEUR, Y., BERNARDA, G., SMITH, A. (2014). "Value Proposition Design". Wiley, Hoboken.

OZKAN, M., AL, A., YAVUZ, S. (2018). "The Effects of Fourth Industrial Revolution with respect to International Political Economy and Turkey". *Marmara University Journal of Political Science*, 6 (2), pp. 126-156.

PAELKE, V. (2014). "Augmented reality in the smart factory: Supporting workers in an industry 4.0. Environment". 19th IEEE international conference on emerging technologies and factory automation, ETFA 2014.

PAN, M., SIKORSKI, J., KASTNER, C. A., AKROYD, J., MOSBACH, S., LAU, R., KRAFT, M. (2015). "Applying Industry 4.0 to the Jurong Island Eco-industrial Park". *Energy Procedia*, 75, 1536–1541.

PARASURAMAN, R., SHERIDAN, T.B., WICKENS, C.D. (2000). "A model for types and levels of human interaction with automation". *IEEE Systems, Man, and Cybernetics Society*, pp. 286 – 297.

PARK, S.C. (2017). "The Fourth Industrial Revolution and implications for innovative cluster policies". *Ai & Society*, 33, 433-445.

PATSAKIS, C. (2013). "The role of weighted entropy in security quantification". *Int. J. Inf. Electron. Eng.* 3(2). 156.

PERALES, D.P., VALERO, F.A., GARCÍA, A.B. (2018). "Industry 4.0: a classification scheme". *Closing the Gap Between Practice and Research in Industrial Engineering*. Springer, Cham, pp. 343–350

PEREIRA, A.C., ROMERO, F. (2017). "A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept". *Procedia Manufacturing*, 13, 1206-1214.

PFOHL, H.C., YAHSI, B., KURNAZ, T. (2017). "Concept and diffusion-factors of Industry 4.0 in the supply chain". *Dynamics in Logistics*. Springer International Publishing, pp. 381–390.

POSADA, J.; TORO, C.; BARANDIARAN, I.; OYARZUN, D.; STRICKER, D.; DE AMICIS, R.; VALLARINO, I. (2015). "Visual computing as a key enabling Technology for Industrie 4.0 and industrial internet". *IEEE Computer Graphics and Applications*, 35 (2), pp. 26-40.

PRAKASH, A., SATISH, M., SRI SAI BHARGAV, T., BHALAJI, N. (2016). "Detection and Mitigation of Denial of Service Attacks Using Stratified Architecture". *Procedia Computer Science*, 87, 275 – 280.

PREM, E. (2015). "A digital transformation business model for innovation. The Proceedings of the 2015". *ISPIM Innovation Summit in Brisbane, Australia - 6-9 December 2015*.

PUCHAN, J., ZEIFANG, A., & LEU, J. DER. (2019). "Industry 4.0 in Practice- Identification of Industry 4.0 Success Patterns". *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*.

QIAN, C., ZHANG, Y., LIU, Y., WANG, Z. (2019). "A cloud service platform integrating additive and subtractive manufacturing with high resource efficiency". *Journal of Cleaner Production*, 241, 118379.

QIN, J., YING, L., GROSVENOR, R. (2016), "A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond", *Procedia CIRP*, Vol. 52, pp. 173–178.

QUALITOR (2020). "Qual a importância da integração de plataformas em uma empresa?". Disponível online: <https://blog.qualitor.com.br/integracao-de-plataformas/>. Acessado em 20/03/2020.

RADZIWON, A., BILBERG, A., BOGERS, M. and MADSEN, E. S. (2014). "The Smart Factory: Exploring Adaptive and Flexible Manufacturing Solutions". *Procedia Engineering*. 69, 1184–1190

RAMANI, S.V., THUTUPALLI, A., URIAS, E. (2017). "High-value hi-tech product introduction in emerging countries". *Qual. Market Res. Int. J.* 20, 208–225.

RAS, E., WILD, F., STAHL, C., BAUDET, A. (2017). "Bridging the skills gap of workers in industry 4.0 by human performance augmentation tools: challenges and roadmap". *Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments, ACM*, pp. 428–432.

REDDY, K. (2019). " Adaptive, efficient and effective graph data integration and search framework". *Procedia Computer Science*, 151, 1255–1260.

RENNUNG, F., LUMINOSU, C. T., DRAGHICI, A. (2016). "Service Provision in the Framework of Industry 4.0". *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 221, 372–377.

RIERA, C., IJIMA, J. (2018). "Does Investment in Digital Technologies Yield Digital Business Value? The Digital Investment Paradox and Knowledge Creation as Enabling Capability". *Proceedings of the 10th Int. Joint Conf. on*

Knowledge Discovery, Knowledge Eng. and Knowledge Management, 208-215.

RUDITO, P., SINAGA, M. (2017). "Digital Mastery: Membangun kepemimpinan digital untuk memenangkan era disrupsi". Jakarta: Gramedia Pustaka Utama

SABO, F. (2015). "Industry 4.0 – a comparison of the status in Europe and the USA". Kufstein, Austrian Maschall Plan Foundation, 33 p.

SABRI, Y., MICHELI, G. J. L., NUUR, C. (2018). "Exploring the impact of innovation implementation on supply chain configuration". *Journal of Engineering and Technology Management - JET-M*, 49, 60–75

SACHDEVA, N., OBHEROI, R. K., SRIVASTAVA, A., & NEHAL, S. K. (2018). "Diffusion of industry 4.0 in manufacturing sector-An innovative framework". 2017 Int. Conference on Infocom Technologies and Unmanned Systems: Trends and Future Directions, ICTUS 2017, 2018–January, 1–5.

SAE – SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. (2001) "SAE J4000 – identification and measurement of best practice in implementation of lean operation". SAE Handbook – Volume 3 – On-Highway Vehicles (Part II) and off-Road Machinery, Society of Automotive Engineers., Warrendale, PA.

SANTOS, M.Y., E SÁ, J.O., COSTA, C., GALVÃO, J., ANDRADE, C., MARTINHO, B., LIMA, F.V., COSTA, E., ET AL. (2017). "A big data analytics architecture for Industry 4.0". *World Conference on Information Systems and Technologies*, April, Springer, Cham, pp. 175–184.

SARALA, R., ZAYARAZ, G., VIJAYALAKSHMI, V. (2016). "Optimal selection of security countermeasures for effective information security". *Proceedings of the International Conference on Soft Computing Systems* (Springer, New Delhi), pp. 345–353.

SARVARI, P. A., USTUNDAG, A., CEVIKCAN, E., KAYA, I., CEBI, S. (2018). "Technology roadmap for industry 4.0". *Industry 4.0: Managing the Digital Transformation*, Springer International Publishing, Cham, pp. 95-103.

SAUCEDO-MARTÍNEZ, J.A., PÉREZ-LARA, M., MARMOLEJO-SAUCEDO, J.A., SALAIS-FIERRO, T.E., VASANT, P. (2017). "Industry 4.0 framework for management and operations: a review". *J. Ambient Intell. Hum. Comput.*, 1–13.

SAVTSCHENKO, M., SCHULTE, F., & VOß, S. (2017). "IT governance for cyber-physical systems: The case of industry 4.0". *International Conference of Design, User Experience, and Usability*, July, Springer, Cham, pp. 667–676.

SCHRÖDER, C. (2016). "The challenges of Industry 4.0 for small and medium-sized enterprises". Friedrich-Ebert-Stiftung, (July), 28.

SCHUH, G., POTENTE, T., WESCH-POTENTE, C., HAUPTVOGEL, A. (2013), "Sust. Increase of Overhead Productivity due to Cyber-Physical Systems,"

SCHUH, G., POTENTE, T., VARANDANI, R., HAUSBERG, C., FRÄNKEN, B. (2014). "Collaboration moves productivity to the next level". Procedia CIRP, 17:3-8.

SCHUH, G., ANDERL, R., GAUSEMEIER J., ten HOMPEL, M., WAHLSTER, W. (2017). "Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies (ACATECH STUDY)", Munich: Herbert Utz Verlag.

SCHUH, G., REBENTISCH, E., RIESENER, M., IPERS, T., TÖNNES, C., JANK, M. H. (2019). "Data quality program management for digital shadows of products". Procedia CIRP, 86, 43–48.

SCHUMACHER, A., EROL, S., & SIHN, W. (2016). "A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises". Procedia CIRP, 52, 161–166.

SCHMIDT, R., MÖHRING, M., HÄRTING, R.-C., REICHSTEIN, C., NEUMAIER, P. and JOZINOVIĆ, P. (2015). "Industry 4.0 - Potentials for Creating Smart Products: Empirical Research Results". International Conference on Business Information Systems, pp. 16–27.

SCHWAB, K. (2016). "The Fourth Industrial Revolution". Portfolio Penguin, London.

SCHWABER, K., & SUTHERLAND, J. (2016). "The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game". Scrum.Org and ScrumInc.

SCOTT, A.; HARRISON, T.P. (2015). "Additive manufacturing in an end-to-end supply chain setting". 3D Printing and Additive Manufacturing, 2 (2), pp. 65-77

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio à Micro e Pequenas Empresas (2013). "Anuário do Trabalho na Micro e Pequena Empresa".

SEGINFO – Portal, Podcast e Evento sobre Segurança da Informação (2019). "A NSA lança orientações atualizadas sobre vulnerabilidades de side channel". Disponível online: <https://seginfo.com.br/2019/02/20/a-nsa-lanca-orientacoes-atualizadas-sobre-vulnerabilidades-de-side-channel/>. Acessado em: 19/03/2020.

SHAIHOLLA, S., BEKOV, A., & UKAEGBU, I. A. (2019). "Industry 4.0: Redefining Manufacturing in Kazakhstan". International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT.

SHAMIM, S., CANG, S., YU, H., LI, Y. (2017). "Examining the feasibilities of Industry 4.0 for the hospitality sector with the lens of management practice". *Energies* 10 (4), 499.

SHELLSHEAR, E.; BERLIN, R.; CARLSON, J.S. (2015). "Maximizing smart factory systems by incrementally updating point clouds". *IEEE Computer Graphics and Applications*, 35 (2), pp. 62-69.

SNUDDEN, J. (2019). "Progression to the next industrial revolution: Industry 4.0 for composites". *Reinforced Plastics*.

SHU, C., ZHOU, K. Z., XIAO, Y., GAO, S. (2016). "How Green Management Influences Product Innovation in China: The Role of Institutional Benefits". *Journal of Business Ethics*, 133, 471–485.

SIVARAMAN, A. (2020). "Soft Side of Digital Transformation: The Connected Employee". *South Asian Journal of Human Resources Management*. 7(1) 121–128.

SOMMER, L. (2015). "Industrial revolution-industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution". *J. Ind. Eng. Manage.* 8 (5), 1512–1532.

SONY, M., & NAIK, S. S. (2019). "Ten Lessons for Managers while Implementing Industry 4.0". *IEEE Engineering Management Review*, 47(2), 45-52.

SPATH, D. (2013). "Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0". Retirado de: <http://www.mechatronikbw.de/attachments/article>

STAUFEN AG. (2016). "Deutscher Industrie 4.0 Index 2015". Köngen: Staufen AG.

STENTOFT, J., JENSEN, K.W., PHILIPSEN, K., HAUG, A. (2019). "Drivers and barriers for industry 4.0 readiness and practice: a SME perspective with empirical evidence". *Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences*.

TALHA, M., EL KALAM, A. A., ELMARZOUQI, N. (2019). "Big data: Trade-off between data quality and data security". *Procedia Computer Science*, 151, 916–922.

TELUKDARIE, A., BUHULAIGA, E., BAG, S., GUPTA, S., & LUO, Z. (2018). "Industry 4.0 implementation for multinationals". *Process Safety and Environmental Protection*, 118, 316–329.

THEORIN, A., BENGTSSON, K., PROVOST, J., LIEDER, M., JOHNSON, C., LUNDHOLM, T., LENNARTSON, B. (2017). "An event-driven manufacturing information system architecture for Industry 4.0". *Int. J. Prod. Res.* 55 (5), 1297–1311

THOBEN, K.-D.; WIESNER, S.; WUEST, T. (2017). "'Industrie 4.0' and smart manufacturing—A review of research issues and application examples". *International Journal of Automation Technology*, 11 (1), pp. 4-16.

TOTVS (2018). "Entenda como a segurança de dados é fundamental na Indústria 4.0". Disponível online: <https://avozdaindustria.com.br/industria-40-totvs/entenda-como-seguran-de-dados-fundamental-na-industria-40>. Acessado em 20/03/2020.

TOWNSEND, M., LE QUOC, T., KAPOOR, G., HU, H., ZHOU, W., & PIRAMUTHU, S. (2018). "Real-Time business data acquisition: How frequent is frequent enough?". *Information and Management*, 55, 422–429.

TREASY (2016). "Como o método Payback pode ajudar na Análise do Tempo de Retorno do Investimento em Projetos". Disponível online: <https://www.treasy.com.br/blog/payback-tempo-de-retorno-do-investimentos/>. Acessado em 27/03/2020.

TÜRKEŞ, M. C., ONCIOIU, I., ASLAM, H. D., MARIN-PANTELESCU, A., TOPOR, D. I., & CAPUSNEANU, S. (2019). "Drivers and barriers in using industry 4.0: A perspective of SMEs in Romania". *Processes*, 7(3).

TURRIONI, J.B, MELLO,C.H.P. (2012). "Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção", UNIFEI, Itajubá.

TUSIAD (2016). "Turkey's global competitiveness as a requirement for industry 4.0". *Tüsiad Yayinlari* (3): 1-64.

VDI - Associação de Engenheiros Brasil-Alemanha (2020). "Infraestrutura para a indústria 4.0". Disponível online: <https://www.vdibrasil.com/infraestrutura-para-a-industria-4-0/>. Acessado em 20/03/2020.

VENDRAMINI, F.; SIMON, D.; DAS, S.K. (2020). "On the use of a full stack hardware/software infrastructure for sensor data fusion and fault prediction in industry 4.0". *Pattern Recognition Letters*, 138, 30–37.

VITA, M. P.; BRUNEO, A. T. (2018). "Servitização e Indústria 4.0 na manufatura: Uma análise bibliométrica". XXV SIMPEP - Simpósio de Engenharia de Produção, Bauru.

VON SOLMS, R.; VAN NIEKERK, J. (2013). "From information security to cyber security". *Computers & Security*, 38, pp. 97-102.

VOSS, C; TSIKRIKTSIS, N; FROHLICH, M. (2002). "Case research in operations management". *International Journal of Operations & Production Management*, v. 22, n. 2, p. 195-219.

WAIBEL, M.W., STEENKAMP, L.P., MOLOKO, N., OOSTHUIZEN, G.A. (2017). "Investigating the effects of smart production systems on sustainability elements". *Procedia Manuf.* 8, 731–737.

WANG, C.H.; LU, Y.H.; HUANG, C.W.; LEE, J.Y. (2013), "R&D, productivity, and market value: an empirical study from high-technology firms", *Omega*, Vol. 41 No. 1, pp. 143-155.

WANG, L., TÖRNGREN, M., ONORI, M. (2015). "Current status and advancement of cyber physical systems in manufacturing". *J. Manuf. Syst.* 37, 517–527.

WANG, S.; WAN, J.; LI, D.; ZHANG, C. (2016). "Implementing smart factory of Industrie 4.0: An outlook". *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12 (1), Article 3159805.

WASLO, R.; TYLER, L.A. (2017). "Industry 4.0 and cybersecurity: Managing risk in an age of connected production". Deloitte University Press, Washington.

WEKING, J., STÖCKER, M., KOWALKIEWICZ, M., BÖHM, M., KRCDMAR, H. (2020). "Leveraging industry 4.0 – A business model pattern framework. *International Journal of Production Economics*". 225, 107588.

WEYER, S., SCHMITT, M., OHMER, M., GORECKY, D. (2015). *IFAC-Papers OnLine*. 48(3), 579–584.

WIREMAN, T. (1998). "Developing Performance Indicators for Managing Maintenance". New York: Industrial Press.

XU, L. DA, XU, E. L., & LI, L. (2018). "Industry 4.0: State of the art and future trends". *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941–2962.

YIN, R. (2001). "Estudo de caso. Planejamento e métodos". 2ª edição, Porto Alegre/RS: Bookman.

ZEZULKA, F., MARCON, P., VESELY, I., SAJDL, O. (2016). "Industry 4. 0–An introduction in the phenomenon". *IFAC-PapersOnLine* 49, 8–12.

ZHAO, B., ZIEDONIS, R. (2020). "State governments as financiers of technology startups: Evidence from Michigan's R&D loan program". *Research Policy*, 49, 103926

ZHOU, K., LIU, T., ZHOU, L. (2015). "Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and Challenges". *International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, pp. 2147–2152.

APÊNDICE I – INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS

DIFICULDADES INERENTES À IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0: PROPOSTA DE UM MÉTODO PARA PRIORIZAR E PROPOR SOLUÇÕES

Apresentação

O Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP) desenvolve estudos nas áreas de Gestão e Estratégias e Engenharia do Produto e do Processo. Essa pesquisa, em especial, enquadra-se na área de “Gestão e Estratégias” na linha de pesquisa “Gestão Estratégica de Operações”.

Trata-se de um projeto de Doutorado em Engenharia de Produção que objetiva realizar um mapeamento das principais dificuldades que as empresas enfrentam ao implantar e/ou evoluir com as tecnologias da Indústria 4.0 em seus processos, de acordo com o seu nível de implantação. Com os dados coletados por meio de um instrumento de coleta de dados, pretende-se buscar nos profissionais da área da indústria sugestões de soluções para superar tais dificuldades.

A total transparência nas respostas é de fundamental importância para se atingir o objetivo proposto. O instrumento de coleta de dados está dividido em 3 seções: 1. caracterização da empresa; 2. qualificação do respondente; 3. Dificuldades – as dificuldades estão categorizadas nos grupos “CULTURAL”, “ESTRATÉGICO”, “POLÍTICAS/PLANOS GOVERNAMENTAIS” e “TECNOLÓGICO/INFRAESTRUTURA”. Em cada uma delas são apresentadas a descrição, relevância e consequências de não vencê-las. Adicionalmente, solicitamos que indique sugestões para solucionar as dificuldades e o nível de importância da resolução de cada dificuldade.

Os dados serão utilizados apenas no âmbito acadêmico, sendo garantido o SIGILO ABSOLUTO do nome da empresa e de seu respondente.

Agradecemos desde já a atenção e contamos com sua valorosa colaboração.

Atenciosamente,

**Matheus P. Vendramini
Simon**

Doutorando em Engenharia de Produção
mpvendramini@gmail.com

Prof. Dr. Alexandre T.

Orientador
alexandre.simon@unimep.br

**DIFICULDADES INERENTES À IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0:
PROPOSTA DE UM MÉTODO PARA PRIORIZAR E PROPOR SOLUÇÕES**

INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS

Seção 1 – Identificação e caracterização da empresa

Nome _____ da _____ empresa:

Segmento _____ de atuação _____ da _____ empresa:

Tempo de atuação da empresa no mercado (em anos): _____

Número de funcionários (em todas as unidades):

() 1 a 19 funcionários () 20 a 99 funcionários () 100 a 499 funcionários

() 500 ou mais funcionários

Seção 2 – Identificação e caracterização do respondente

Nome _____ do _____ respondente:

Departamento: _____

Cargo: _____

–

Formação: _____

–

Tempo de atuação na empresa do respondente (em anos): _____

Seção 3 – Dificuldades

3.1. CATEGORIA 1 – Dificuldades categorizadas no grupo “CULTURAL”

1.1. Baixo apoio e dedicação da liderança no processo de implantação

- Descrição:

A liderança no cenário da Indústria 4.0 deve ter suas características e engajamento voltados à transformação digital (GÖKALP *et al.*, 2017). Esse ponto é uma dificuldade acentuada nos líderes mais experientes, com maior tempo exercendo a função, aceitando menos a nova realidade (SAVTSCHENKO *et al.*, 2017). A grande resistência está na nova forma de trabalhar, tendo necessidade de sair da zona de conforto (SHAMIM *et al.*, 2017).

- Relevância:

O apoio e comprometimento da alta direção são condições indispensáveis para a implementação efetiva de qualquer projeto ou programa dentro da empresa, seja no âmbito de novos produtos, da qualidade, da gestão ou de novas tecnologias, etc. Não é diferente no caso da implantação das tecnologias da Indústria 4.0. A liderança desempenha papel significativo na condução da transformação digital da organização. Pesquisadores afirmam que a liderança tem influência direta e indireta na inovação do modelo de negócios como parte da transformação digital (BERMAN, 2012; PREM, 2015; LI, 2018).

A liderança digital é formada por características globais, profundas e criativas, alinhadas com a mudança da Indústria 4.0, onde o ecossistema da empresa precisa ser mais inovador, padronizado, modular, interoperável, descentralizado, em tempo real e orientado a serviços (IBARRA *et al.*, 2018). Na era digital, o líder deve agir com uma mentalidade global definida para se interconectar e ser mais criativo para apoiar a cultura de inovação nas respectivas empresas. Eles sempre devem pensar na nova maneira de fazer negócios e terem conhecimento profundo em assumir riscos e tomar decisões para tornar a empresa mais inovadora, modular e descentralizada. Em outras palavras, a liderança deve facilitar a capacidade digital das empresas de serem integradas no desenvolvimento de cultura e competência (RUDITO e SINAGA, 2017).

A alta administração é quem dita os rumos da organização e estabelece quais recursos serão utilizados em determinada área ou projeto. Portanto, se a empresa optou por implantar as tecnologias da Indústria 4.0, a alta administração tem que dar o apoio necessário de se dedicar ao processo de implantação (De Waal *et al.*, 2016).

- Consequências:

Quando o corpo diretivo da empresa não dá apoio e não se compromete com algum programa ou projeto, certamente este não será bem-sucedido. Uma liderança que se abstém nos processos de transformação digital, além de estar no caminho contrário da empresa e demonstrar nitidamente o desinteresse nas mudanças, está também retardando a implementação efetiva das tecnologias da Indústria 4.0 (MIHARDJO *et al.*, 2019).

Quais são suas sugestões para vencer essa dificuldade?

SUA PROPOSTA DE SOLUÇÃO:

Em sua opinião, qual o nível de importância da resolução dessa dificuldade para o processo de implantação da Indústria 4.0?

() BAIXO () MÉDIO () ALTO

1.2. Baixo entendimento sobre a Indústria 4.0

- Descrição:

O entendimento sobre as implicações da Indústria 4.0 entre profissionais da indústria ainda é muito baixo, havendo diversas definições sobre o termo. Além disso, muitas organizações ainda não possuem uma compreensão básica dos aspectos-chave da Indústria 4.0, dificultando o processo de implantação por não saberem com o que estão lidando (ALMADA-LOBO, 2016).

- Relevância:

Pesquisa realizada em 2018 pela Fiesp (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo), com 227 empresas do Estado de São Paulo, declara que 32% das empresas não têm o entendimento sobre a Indústria 4.0 (FIESP 2018). O claro entendimento sobre os aspectos da Indústria 4.0 é indispensável para as empresas que estão implementando as tecnologias em seus processos. É preciso que a empresa saiba exatamente o que está implantando, onde e como está direcionando seus recursos. Esse entendimento é crucial, pois abre caminho para decisões importantes, incluindo quais pesquisas precisam ser realizadas, quais fatores são os mais importantes a serem abordados pelas empresas e quais são os próximos passos a serem tomados (HOYER *et al.*, 2020).

Particularmente, as empresas lutam para entender o que é a Indústria 4.0, pois geralmente são focadas apenas em aspectos tecnológicos. Estudos apresentam diferentes razões pelas quais as empresas decidem a favor ou contra a adaptação dos seus processos à Indústria 4.0, levando a uma falta de clareza sobre quais fatores são realmente relevantes. Esse entendimento é necessário para criar uma base sólida aos profissionais para que possam formular estratégias eficazes (BUER *et al.*, 2018).

- Consequências:

Com o baixo entendimento sobre a Indústria 4.0 os profissionais não conhecem a sua importância e não conhecem a fundo as consequências/ implicações na realização dos seus objetivos (HOFMANN e RÜSCH, 2017). A falta de uma visão clara ou apenas um entendimento parcial da Indústria 4.0 leva à confusão e agrava a comunicação dentro da organização (BUER *et al.*, 2018).

Qual sua sugestão para vencer essa dificuldade?

SUA PROPOSTA DE SOLUÇÃO:

--

Em sua opinião, qual o nível de importância da resolução dessa dificuldade para o processo de implantação da Indústria 4.0?

() BAIXO () MÉDIO () ALTO

1.3. Relutância ao implantar a Indústria 4.0

- Descrição:

É importante estar disposto a enfrentar quaisquer mudanças dentro da empresa e com a Indústria 4.0 não é diferente. A relutância das pessoas em mudar ou sua indiferença à necessidade de mudar é uma dificuldade cultural e frequentemente subestimada, sendo geralmente não reconhecida pelas empresas (MÜLLER *et al.*, 2017b; THEORIN *et al.*, 2017).

Como a Indústria 4.0 introduz uma mudança revolucionária na forma como o trabalho é desenvolvido na empresa, sua implantação trata-se de um compromisso rigoroso, o que significa mudança nos processos em que os funcionários já estão familiarizados, podendo causar insatisfação e relutância nos colaboradores mais inflexíveis (TÜRKEKES *et al.*, 2019).

- Relevância:

O surgimento da Indústria 4.0 traz, além das tecnologias, a importância da mudança na cultura, na forma de trabalhar das empresas. A cultura organizacional é o sistema de valores, crenças e hábitos dentro de uma organização que interage com a estrutura formal para produzir normas comportamentais, influenciar funcionários, seus graus de satisfação com o trabalho e os níveis de qualidade do seu desempenho. O comportamento e a mentalidade dos trabalhadores devem ser trabalhados (MACMAHON, 2013).

A estratégia e a tecnologia por si só não são suficientes para impulsionar a implementação da Indústria 4.0 nos processos de uma empresa. A cultura organizacional e o anseio da mudança são quesitos vitais no progresso de implantação. Por mais digitais que sejam, todas as organizações são humanas. Todas são compostas por pessoas, e essas pessoas devem evoluir e mudar o que fazem de maneira sustentada e consistente para que a organização também mude (DURHAM *et al.*, 2020).

- Consequências:

A não aceitação em mudar a maneira de trabalhar acaba influenciando a empresa de uma forma generalizada, influenciando negativamente pessoas a tornarem os processos digitais. Esse comportamento relutante e a acomodação dos funcionários em geral retardam a implantação da Indústria 4.0, impedindo a empresa de alcançar os objetivos no tempo e da forma que se planeja (PERALES *et al.*, 2018).

Qual sua sugestão para vencer essa dificuldade?**SUA PROPOSTA DE SOLUÇÃO:**

Em sua opinião, qual o nível de importância da resolução dessa dificuldade para o processo de implantação da Indústria 4.0?

() BAIXO () MÉDIO () ALTO

1.4. Crescimento Econômico baseado em mão de obra barata**- Descrição:**

Predominantemente, os empresários ainda têm o sentimento de que o crescimento econômico de países emergentes é baseado na mão de obra de baixo custo, especialmente para as atividades de manufatura. Essa ideia é de que a automação e outras tecnologias vinculadas à Indústria 4.0 podem ser mais caras nesses países em relação à mão de obra, causando o desencorajamento e o atraso nos investimentos (DALENOGARE *et al.*, 2018).

- Relevância:

Desde o século XVII as revoluções industriais têm explorado a capacidade física da mão-de-obra, enquanto a Indústria 4.0, última das revoluções industriais (século XXI), dá precedência à capacidade intelectual como o elemento mais proeminente na criação de valor agregado. Tais circunstâncias levaram os países desenvolvidos a retirarem os investimentos de países cujas empresas possuem processos mais tecnológicos e investirem em países cuja mão-de-obra é de baixo custo, causando problemas na economia e na competitividade globais (BAL e ERKAN, 2019).

Entretanto, os países que implementam as tecnologias da Indústria 4.0 de maneira eficaz e, ao mesmo tempo, as aprimoram, obtêm maiores vantagens competitivas. Na Indústria 4.0, com menor mão-de-obra empregada, os custos unitários ficam mais baratos nos países que possuem manufatura compatível com as tecnologias. Essa mudança dá aos países vantagem competitiva na exportação de seus produtos, eliminando as vantagens de países que fabricam com o custo de mão-de-

obra baixo, em comparação a países que implementam a Indústria 4.0. Além disso, os desenvolvimentos da manufatura inerentes à quarta revolução industrial, levarão a um aumento no crescimento econômico do país (OZKAN *et al.*, 2018).

- Consequências:

O baixo custo de mão de obra não permeará de modo constante. Na atualidade, países que tinham como atrativo mão-de-obra barata, estão nivelando esses custos aos países desenvolvidos em um ritmo significativo (BAL e ERKAN, 2019). Estagnar-se no desenvolvimento tecnológico, mantendo a mão-de-obra de baixo custo como principal recurso para o aumento da vantagem competitiva, fará com que as empresas percam espaço no mercado competitivo para aquelas que estão se atualizando e se adequando às tecnologias da Indústria 4.0 (TUSIAD, 2016).

O que você sugere para que essa dificuldade seja vencida?

SUA PROPOSTA DE SOLUÇÃO:

Em sua opinião, qual o nível de importância da resolução dessa dificuldade para o processo de implantação da Indústria 4.0?

() BAIXO () MÉDIO () ALTO

1.5. Dúvidas sobre o benefício econômico dos investimentos digitais

- Descrição:

A falta de clareza sobre os benefícios econômicos da Indústria 4.0 é uma dificuldade que as empresas enfrentam por não terem convicção sobre o retorno financeiro proveniente do investimento em tecnologias durante a implantação de tecnologias. O desconhecimento sobre esses benefícios impossibilita o cálculo preciso do *payback* dos investimentos, deixando os dirigentes de empresas inseguros quanto ao aporte financeiro (KIEL *et al.*, 2017).

- Relevância:

Quando se fala em benefício econômico de qualquer que seja o investimento, a intenção é a demonstração do quanto uma medida de investimento é lucrativa para os negócios da empresa. Uma forma de demonstrar o benefício econômico de um investimento é pelo cálculo do *Payback*, que significa o tempo de retorno do investimento, sendo um dos principais indicadores a serem verificados para o bom funcionamento das empresas. Esse retorno representa o tempo decorrido entre o investimento no negócio e o momento no qual o lucro se iguala ao montante que foi investido (TREASY, 2016).

Entretanto, pouco são estudadas as métricas de como calcular retornos financeiros sobre os investimentos gerados pelas tecnologias da Indústria 4.0. Isso se dá devido às incertezas que ainda permeiam as empresas sobre a digitalização. Conhecer o impacto econômico das mudanças que a revolução digital permite é fundamental para saber como se adaptar ao cenário da digitalização e estabelecer a forma mais fácil para a implantação das tecnologias da Indústria 4.0 (MARQUES *et al.*, 2017)

- Consequências:

Quando uma empresa não é capaz de reconhecer os benefícios ou a viabilidade econômica de um investimento, nesse caso investimentos digitais, corre-se o risco de investimentos digitais não serem aprovados por falta de análise mais profunda. Além disso, a probabilidade de tomar decisões incorretas é bastante alta (RIERA e IJIMA, 2018).

Qual sua sugestão para superar essa dificuldade?

SUA PROPOSTA DE SOLUÇÃO:
Em sua opinião, qual o nível de importância da resolução dessa dificuldade para o processo de implantação da Indústria 4.0? () BAIXO () MÉDIO () ALTO

1.6. Falta de cultura digital

<p>- Descrição: Ao implementar qualquer nova ferramenta ou metodologia há uma barreira bastante grande no que diz respeito à cultura da organização. Aceitar uma nova cultura, novos costumes e uma forma diferente de trabalhar é uma grande dificuldade para as empresas e seus funcionários. Para estabelecer uma cultura digital não é diferente (RAS <i>et al.</i>, 2017).</p> <p>- Relevância: Cultura digital refere-se basicamente à necessidade de criar uma atitude mental aberta e positiva em relação a futuros desafios tecnológicos (BRUNETTI <i>et al.</i>, 2020). A digitalização é uma mudança no paradigma de como pensar, como agir, como se comunicar com o ambiente externo e uns com os outros. As estratégias de comunicação representam o principal objetivo da revolução digital. O principal aspecto da revolução digital não são as novas tecnologias em si, mas as mudanças na cultura, comportamento, atitude, pensamento, postura e posicionamento do modelo tradicional para o modelo digital. Transformação digital é, na verdade, sobre pessoas e sobre a forma de resolver problemas e gerar valor para os clientes (MININA e MABROUK, 2019). Na transformação digital, "pensar" e "agir" de forma digital é diferente de apenas processos de digitalização. Isso requer que uma mudança fundamental na mentalidade organizacional seja uma verdadeira organização de aprendizado, sustentada pelo pensamento sistêmico, domínio pessoal, modelos mentais, construção de visão compartilhada e aprendizado em equipe (SIVARAMAN, 2020). A digitalização é o principal requisito para iniciar a implantação das tecnologias da Indústria 4.0 (SCHUH <i>et al.</i>, 2017). Garantindo que a cultura digital se instale, a empresa estará mais próxima do sucesso em sua jornada (RAS <i>et al.</i>, 2017).</p> <p>- Consequências: A falta de cultura digital impede a conexão de diferentes elementos de uma rede e a integração entre as diversas áreas da empresa. As organizações devem ter consciência de que podem deixar de existir em função da incapacidade de se adaptar à transformação digital (BRUNETTI <i>et al.</i>, 2020).</p> <p>Quais são suas sugestões para superar essa dificuldade?</p>
SUA PROPOSTA DE SOLUÇÃO:
Em sua opinião, qual o nível de importância da resolução dessa dificuldade para o processo de implantação da Indústria 4.0? () BAIXO () MÉDIO () ALTO

1.7. Falta de Mão de Obra qualificada

- Descrição:

É uma dificuldade para as empresas encontrarem, dentro ou fora da organização, mão de obra com o devido perfil para explorar as ferramentas da Indústria 4.0 e auxiliar em sua evolução. Os profissionais atualmente carecem de competência para a gestão de questões complexas relacionadas à análise e interpretação de dados, espaço ou tempo, uso de instruções específicas, na adoção efetiva da Indústria 4.0 (RAS *et al.*, 2017).

- Relevância:

Mesmo que a implementação de novas tecnologias melhore a competitividade, também exige um novo conjunto de conhecimentos e habilidades. As tecnologias da Indústria 4.0 pressupõem uma atualização do conhecimento e da competência em todos os níveis, especialmente entre aqueles que operam e utilizam as tecnologias no processo de fabricação (OECD, 2017).

É certo que os profissionais da Indústria 4.0 tenham que desenvolver uma formação multidisciplinar, mas com habilidades e competências específicas. Também terão que aprender a lidar com equipamentos e máquinas inteligentes, ações que requerem maior senso de adaptação, observação e decisão e vão muito além do simples apertar de botões. O senso de urgência também será maior devido a disseminação dos sistemas de *big data* e do acesso às informações que antes eram restritas aos sistemas internos das empresas (INTHURN, 2020).

Pesquisa divulgada pela Confederação Nacional da Indústria (CNI), realizada com 1.946 indústrias do Brasil, aponta que cinco em cada dez indústrias brasileiras (50%) têm dificuldade em contratar por causa da falta de trabalhador qualificado. A vaga existe, mas, muitas vezes, a empresa não consegue preenchê-la. Essa dificuldade aumenta ainda mais se forem consideradas habilidades para lidar com tecnologias da Indústria 4.0 (CNI, 2019).

Embora o número de empregos na indústria provavelmente seja reduzido no futuro, é provável que os requisitos de conhecimento para os que permanecem mudem, tornando a educação profissional um tópico importante para as empresas de produção (LUND e KARLSEN, 2019).

Ter profissionais qualificados integrados à sua equipe, faz com que as empresas tenham maior competência e assertividade na trajetória rumo à Indústria 4.0 (EROL *et al.*, 2016).

- Consequências:

É comprovado que a falta de mão de obra qualificada para lidar com as tecnologias da Indústria 4.0 é um agravante para as organizações. As indústrias poderão enfrentar grandes problemas na implantação se não tiverem em seu quadro de funcionários características digitais. Além disso, as tarefas poderão ser desempenhadas de maneira ineficiente, aumentando o tempo de execução e a consequente tomada de decisão tardia ou errônea, o que pode impactar negativamente na produtividade e na vantagem competitiva da empresa (GÁBOR *et al.*, 2018).

O que você sugere para solucionar essa dificuldade?

SUA PROPOSTA DE SOLUÇÃO:

Em sua opinião, qual o nível de importância da resolução dessa dificuldade para o processo de implantação da Indústria 4.0?

() BAIXO () MÉDIO () ALTO

1.8. Problemas com a redução de oportunidades de emprego

- Descrição:

Sempre quando um novo processo e tecnologia são implantados, o medo dos gestores em reduzir a oportunidade de trabalho devido às mudanças é grande. Essa é uma dificuldade para as empresas, seja pela substituição de seres humanos por robôs, ou pela possibilidade de enfrentarem questões legais (desligamentos e processos trabalhistas) e também sociais (por aumentar o índice de desemprego de sua região) (WAIBEL *et al.*, 2017).

Os impactos do aumento das inovações tecnológicas perturbam os mercados de trabalho, pois algumas habilidades humanas estão se tornando substituíveis no mercado devido à capacidade das máquinas. A influência dessas inovações não é apenas nas tarefas manuais rotineiras, mas também nas cognitivas e não rotineiras. Atualmente, algumas das tarefas executadas por trabalhadores humanos estão em risco devido à automação e digitalização de processos e robôs de serviço que podem substituir tarefas rotineiras de trabalhadores, por exemplo (FREY e OSBORNE, 2017).

- Relevância:

O uso da automação, máquinas e dispositivos integrados é premissa para a implantação da Indústria 4.0 (ZHOU *et al.*, 2015) e uma das questões atuais do mercado de trabalho é a capacidade das empresas em analisar como o progresso da tecnologia nos processos de produção afetará o mercado de trabalho, especialmente no contexto da substituição de trabalhadores humanos por máquinas (NOVAKOVA, 2020).

Por um lado, a Indústria 4.0 e suas tecnologias vêm substituindo o trabalho individual, por outro lado, tem-se criado tipos de profissões para as pessoas digitalmente alfabetizadas, as quais estão tornando valiosas por terem capacidade de participar de discussões sobre leis e políticas sobre inteligência artificial (HOESCHLE *et al.*, 2017).

As empresas estão cada vez mais tendo altos custos com desligamentos e processos trabalhistas. Essas questões legais estão aumentando concomitantemente ao poder e as capacidades dos robôs. Além disso, como os fabricantes estão tentando permanecer competitivos no mercado, estão tentando maximizar lucros e, assim, reduzir custos. Independentemente dos investimentos iniciais em máquinas e equipamentos e na automação de processos, as empresas se concentram em um período de longo prazo, no qual podem aumentar a produtividade e reduzir os custos de mão-de-obra. Ao mesmo tempo, as empresas estão cientes de que as máquinas, diferentemente das pessoas, não serão incapazes de trabalhar, não negociarão aumentos salariais, não exigirão benefícios e, finalmente, economizarão custos e aumentarão a produtividade (ARNTZ *et al.*, 2016).

- Consequências:

A indústria manufatureira está passando por uma transformação. As empresas que não se adaptarem não conseguirão se adequar rapidamente para produzir e desenvolver produtos flexíveis, ou seja, não atenderão às diferentes demandas. Além disso, se não forem capazes de lidar com as medidas relacionadas à oportunidade de emprego em prol da digitalização, não estarão aptas para sustentar a implantação das tecnologias da Indústria 4.0 em seus processos (NOVAKOVA, 2020).

O que você sugere para vencer a dificuldade “Redução de oportunidades de emprego”?

SUA PROPOSTA DE SOLUÇÃO:
Em sua opinião, qual o nível de importância da resolução dessa dificuldade para o processo de implantação da Indústria 4.0? () BAIXO () MÉDIO () ALTO

3.2. CATEGORIA 2 – Dificuldades categorizadas no grupo “ESTRATÉGICO”

2.1. Deficiência na visão e estratégia das operações digitais
<p>- Descrição: Ao implantar a Indústria 4.0, as empresas enfrentam a dificuldade da falta de visão e estratégia no processo de digitalização. Como em todos os negócios, toda mudança exige visão e estratégia bem estabelecidas. Algumas empresas têm dificuldade em saber se, por exemplo, vão transformar seus processos e locais de produção de forma incremental (aos poucos) ou de forma radical (substituindo todo processo e sistemas por sistemas totalmente digitalizados) (ALBUKHITAN, 2020). O desenvolvimento e a implementação de uma estratégia de transformação digital tornaram-se um requisito importante para as organizações, mas como essa estratégia pode ser desenvolvida é uma preocupação (Erol <i>et al.</i>, 2016).</p> <p>- Relevância: A estratégia de transformação digital é vista como um plano estruturado e formal que direciona uma empresa ao longo de sua jornada de transformação digital. Assim, amplia a análise prática e discute os benefícios e riscos associados às tecnologias digitais de maneira abrangente. A estratégia ajuda os líderes a responder às perguntas de seus negócios, como o nível atual de digitalização, visão de futuro e como chegar lá (ISMAIL <i>et al.</i>, 2017). Para a implementação bem-sucedida das tecnologias da Indústria 4.0, são necessárias mentalidade diferente e comunicação de uma estratégia clara em relação às novas tecnologias entre todos os setores da empresa. Além disso, a visão do negócio é indispensável, pois a transformação é considerada como um processo de longo prazo, com fases cíclicas e sucessivas, tendo natureza interorganizacional e interfuncional (SABRI <i>et al.</i>, 2018).</p> <p>- Consequências: A deficiência na visão e estratégia das operações digitais é uma das dificuldades mais graves que uma empresa pode enfrentar. A ausência desses fatores impossibilita que a organização enxergue sua jornada e possa, conseqüentemente, discutir os efeitos das tecnologias digitais em seus processos, além de não serem capazes de atribuírem responsabilidades adequadas e claras para a definição e implementação da transformação digital. Se a estratégia e visão não forem abordadas com entusiasmo, as empresas poderão perder seu escopo e encontrar dificuldades operacionais (MATT <i>et al.</i>, 2015).</p> <p>Como superar essa dificuldade?</p>
SUA PROPOSTA DE SOLUÇÃO:
Em sua opinião, qual o nível de importância da resolução dessa dificuldade para o processo de implantação da Indústria 4.0? () BAIXO () MÉDIO () ALTO

2.2. Falta de competência na aplicação de novos modelos de negócio

- Descrição:

A questão de como as novas tecnologias afetam os modelos de negócio é pouco estudada (BOCK e WIENER, 2017). Consequentemente as empresas não sabem como podem ser os novos modelos de negócio para a Indústria 4.0 (SARVARI *et al.*, 2018) e nem como transformar os modelos de negócio tradicionais voltados à Indústria 4.0. As empresas sofrem por não entenderem o modelo de negócio existente suficientemente bem para saber quando e/ou como ele precisa mudar (GRÜNERT e SEJDIĆ, 2017). Portanto, as aplicações dos modelos de negócio relacionados à indústria 4.0 são baseados principalmente em tentativa e erro e carecem de orientação sistemática (LAUDIEN e DAXBÖCK, 2016).

É uma dificuldade para as empresas, sobretudo para seus cientistas de dados, escreverem em seus novos modelos de negócios algoritmos adequados para revelarem importantes insights a serem praticados, isto é, como serão utilizadas máquinas e ferramentas nos novos processos (KHAN *et al.*, 2017).

- Relevância:

Modelo de negócio é definido como a “descrição da lógica de como uma organização cria, distribui e captura valor”. Determina o produto ou serviço que uma empresa irá produzir ou fornecer, o método de produção, o seu público alvo e suas fontes de receita (OSTERWALDER *et al.*, 2014).

A Indústria 4.0 está associada a avanços que assumem a oportunidade ou mesmo a exigência de alterar os modelos de negócio atuais (KAGERMANN *et al.*, 2013). A adoção de novos modelos de negócio é necessária para que a empresa possa competir globalmente com um ambiente altamente personalizado e flexível. Estabelecer e seguir um modelo de negócio bem definido, tende a tornar a jornada de implantação da Indústria 4.0 das empresas concluída com sucesso (SAUCEDO-MARTÍNEZ *et al.*, 2017).

“Uma tecnologia medíocre adotada dentro de um grande modelo de negócios pode ser mais valiosa do que uma grande tecnologia explorada por meio de um modelo de negócio medíocre” (WEKING *et al.*, 2020).

- Consequências:

A incapacidade da aplicação de um modelo de negócio a novas condições digitais e tecnológicas impede a empresa de alcançar resultados concretos e satisfatórios, podendo acabar prejudicada no processo de implantação da Indústria 4.0 (GASSMANN *et al.*, 2014).

Qual sua sugestão para vencer essa dificuldade?

SUA PROPOSTA DE SOLUÇÃO:

Em sua opinião, qual o nível de importância da resolução dessa dificuldade para o processo de implantação da Indústria 4.0?

() BAIXO () MÉDIO () ALTO

2.3. Problema de coordenação e colaboração cliente-fornecedor

- Descrição:

Uma grande dificuldade enfrentada por empresas que almejam a implementação da Indústria 4.0 é a colaboração entre seus clientes e fornecedores. Isso se faz necessário pois é preciso a sincronização de dados por meio da padronização de interfaces de seus sistemas com alta compatibilidade de *hardware* e *software* (LEE *et al.*, 2014).

Entretanto, se já é difícil coordenar e garantir as atividades para implantação da Indústria 4.0 dentro da própria empresa, obter a colaboração de seus clientes e fornecedores é uma tarefa extremamente complexa (PFOHL *et al.*, 2017).

- Relevância:

Ter boa comunicação e transparência com toda a cadeia de suprimentos (clientes e fornecedores) é indispensável para todas as empresas. Esse aspecto é ainda mais importante no que diz respeito à implantação da Indústria 4.0 (KAGERMANN *et al.*, 2013).

Com o avanço tecnológico, as empresas necessitam se reinventar de maneira a permitir que se adaptem às necessidades emergentes dos clientes e, por exemplo, estejam aptas a mudanças não planejadas, agendem manutenções e prevejam de falhas, podendo avançar mais facilmente na implementação das tecnologias da Indústria 4.0 (JAZDI 2014).

- Consequências:

Problemas de coordenação e colaboração entre empresas (cliente-fornecedor) podem causar dificuldades para entender os conceitos adotados logo no início da implantação da Indústria 4.0 bem como retardar a trajetória de sua implementação, uma vez que os sistemas e tecnologias não estarão conectados e sincronizados (DUARTE e CRUZ-MACHADO, 2017).

Como superar essa dificuldade?

SUA PROPOSTA DE SOLUÇÃO:

Em sua opinião, qual o nível de importância da resolução dessa dificuldade para o processo de implantação da Indústria 4.0?
() BAIXO () MÉDIO () ALTO

2.4. Restrições financeiras

- Descrição:

Um grande obstáculo enfrentado na implementação das tecnologias da Indústria 4.0, sobretudo nas Pequenas e Médias Empresas (PMEs) é a restrição financeira. Para que seja possível a inserção dessas tecnologias nos processos industriais, as organizações necessitam desembolsar uma quantia considerável, o que é um desafio por conterem limitados orçamentos para novos investimentos (THEORIN *et al.*, 2017).

- Relevância:

A implantação da Indústria 4.0 exige que as empresas invistam significativamente em *hardwares*, *softwares* e licenças, máquinas, infraestrutura compatível, mão de obra qualificada e desenvolvimento de pessoal, além de despesas indiretas de implementação. O investimento em tecnologias da Indústria 4.0 permite que as empresas conectem seus processos, tenham informações e dados de maneira mais ágil, além da possibilidade da gerência tomar decisões de forma mais rápida (DAWSON, 2014).

Além de investir em tecnologias (o que inclui máquinas, *hardwares* e *softwares*), deve-se pensar em toda a questão que envolve segurança de informações, pois,

como os dados têm se tornado um bem precioso para as empresas, os custos com métodos de prevenção à *hackers* e fraudes têm se tornado altos (MÜLLER *et al.*, 2017b).

- Consequências:

A limitação de recursos financeiros obriga a alta gerência a ser comedida em relação ao seus investimentos e gastos de capital, podendo retardar o avanço da implantação das tecnologias da Indústria 4.0 em seus processos (NICOLETTI, 2018).

Qual sua sugestão para vencer a dificuldade "Restrições financeiras"?

SUA PROPOSTA DE SOLUÇÃO:

Em sua opinião, qual o nível de importância da resolução dessa dificuldade para o processo de implantação da Indústria 4.0?

() BAIXO () MÉDIO () ALTO

3.3. CATEGORIA 3 – Dificuldades categorizadas no grupo “POLÍTICAS/ PLANOS GOVERNAMENTAIS”

3.1. Deficiência em Pesquisa e desenvolvimento (P&D)

- Descrição:

Como uma grande dificuldade enfrentada pelas empresas que estão implantando a Indústria 4.0, Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) envolve um alto grau de risco e incerteza, do ponto de vista interno da empresa, geralmente requer uma grande quantidade de capital e suporte financeiro de longo prazo, o que acaba se tornando um temido investimento (LAI *et al.*, 2015). A dificuldade está em apostar em um investimento de P&D sem ter rápido retorno planejado, fazendo com que as empresas nem mesmo se arrisquem investir.

- Relevância:

P&D é a junção da pesquisa e do desenvolvimento, considerando-se que a pesquisa “é utilizada como ferramenta, para a descoberta de novos conhecimentos”, enquanto que desenvolvimento refere-se à “aplicação através do processo de novos conhecimentos para se obter resultados práticos” (KOHL e ZONATTO, 2011).

Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), de uma forma geral, diz respeito a pesquisa com foco científico das várias iniciativas e abordagens de um novo processo ou produto, fornecendo fundamentos teóricos necessários para a implantação de novas tecnologias e inovação nos processos da indústria. Isso também se aplica para a Indústria 4.0. Investir em Pesquisa e Desenvolvimento permite que as empresas conheçam precisamente suas estratégias de decisão durante a transformação digital do negócio (SCHMIDT *et al.*, 2015).

P&D desempenha um papel importante no aumento da produtividade por meio da inovação ou até mesmo da replicação de algo já existente. As melhorias de produtividade são impulsionadas pelo progresso tecnológico (nova tecnologia) e por novas formas de organizar processos de produção intimamente relacionados às atividades de P&D (LEE, 2020). É uma importante fonte de vantagem competitiva para as empresas que estão implantando as tecnologias da Indústria 4.0. De fato, em um ambiente extremamente competitivo, a sobrevivência se baseia na capacidade de entregar rapidamente esforços de P&D para gerar inovação, atualizar a tecnologia e aumentar o valor agregado dos mercados e da produtividade (WANG *et al.*, 2013).

- Consequências:

A deficiência que as empresas enfrentam nesse processo causa, na maioria das vezes, problemas na adoção efetiva da Indústria 4.0 de modo a não terem domínio sobre as tecnologias disponíveis e capacidade inovadora de seus processos (HERMANN et al., 2016).

Qual sua sugestão para solucionar essa dificuldade?

SUA PROPOSTA DE SOLUÇÃO:

Em sua opinião, qual o nível de importância da resolução dessa dificuldade para o processo de implantação da Indústria 4.0?

BAIXO MÉDIO ALTO

3.2. Falta de suporte e apoio governamentais

- Descrição:

De uma forma geral, os processos para aquisição de subsídios governamentais são demasiadamente burocráticos e demandam bastante tempo, o que se considera um obstáculo para o desenvolvimento de novos processos e tecnologias pelas empresas (ZHAO e ZIEDONIS, 2020). Na grande maioria dos países, o governo não tem conhecimento sobre os conceitos e impactos da Indústria 4.0, fazendo com que se ausentem nos incentivos e gerando maior dificuldade para as empresas no processo de implantação das tecnologias da Indústria 4.0 (BRICS *Business Council*, 2017).

- Relevância:

Suporte e apoio governamentais referem-se à “medida em que uma empresa em particular obtém assistência, como políticas, incentivos e programas favoráveis do governo e de seus departamentos administrativos” para implementação de novos produtos, tecnologias ou até mesmo novas unidades industriais (SHU *et al.*, 2016).

O apoio governamental pode ser dividido em apoio direto ou indireto. O apoio direto significa que o governo assiste uma empresa diretamente, com o fornecimento de subsídios ou redução de impostos (MARDOYAN e BRAUN, 2015). Já o apoio indireto significa que o governo assiste uma empresa indiretamente, seja na forma de construção de uma rede Inter organizacional, fornecendo garantias financeiras e publicidade (NISHIMURA e OKAMURO, 2011).

É muito importante para o desenvolvimento das empresas o apoio governamental por meio de subsídios, políticas e diretrizes, revelando um roteiro para transformar as funções tradicionais em processos mais inteligentes e sustentáveis. A definição de diretrizes e instruções por analistas políticos e órgãos governamentais é um importante impulsionador para as empresas comporem seu processo de implantação da Indústria 4.0 (BRICS *Business Council*, 2017).

- Consequências:

Não buscar ou não obter suporte e apoio do governo, seja de qualquer natureza, pode fazer com que a empresa perca oportunidades de desenvolvimento de novas tecnologias, além de gastos desnecessários que poderiam ser absorvidos por meio de subsídios governamentais (BRANDER *et al.*, 2015).

O que você sugere para solucionar essa dificuldade?

SUA PROPOSTA DE SOLUÇÃO:
Em sua opinião, qual o nível de importância da resolução dessa dificuldade para o processo de implantação da Indústria 4.0? () BAIXO () MÉDIO () ALTO

3.4. CATEGORIA 4 – Dificuldades categorizadas no grupo “TECNOLÓGICO/INFRAESTRUTURA”

4.1. Complexidade na análise de dados
<p>- Descrição: As tecnologias da Indústria 4.0 envolvem uma atividade intensa de análise de dados e extração de informações relevantes de um <i>Big Data</i>. É uma atividade complexa devido as suas características que envolvem volume, velocidade, variedade, veracidade e valor referentes aos dados (LIU <i>et al.</i>, 2020). A correta tomada de decisão, que é um ponto chave para as empresas, se torna mais difícil e lenta de acordo com a complexidade da análise dos dados (GHASEMAGHAEI, 2019). Pesquisa revela que apenas 27% das empresas relataram que seus investimentos em análise de dados foram bem-sucedidos. Uma razão para a falha é que muitas empresas ainda não conhecem as condições necessárias para analisar dados de forma simples e com eficácia (GHASEMAGHAEI <i>et al.</i> 2017).</p> <p>- Relevância: Análise de dados, ou <i>Data Analytics</i>, é o processo de analisar informações com um propósito específico, ou seja, pesquisar e responder perguntas com base em dados e com uma metodologia clara para todos os envolvidos. É a análise de dados que permite informações serem compreendidas pelos negócios, a fim de prever tendências e acompanhar métricas, o que são entradas importantes para tomada de decisão (MAROUFKHANI <i>et al.</i>, 2020). A capacidade de analisar dados de forma correta tornou-se um fator crítico para o sucesso das empresas, pois permite que elas percebam melhor as ameaças e oportunidades, as modelem e as aproveitem (JANSSEN <i>et al.</i>, 2017). Uma empresa que utiliza extensivamente a análise de dados pode ter uma melhor capacidade de compartilhar conhecimento dentro da empresa e melhorar a qualidade das tomadas de decisão (GHASEMAGHAEI, 2019).</p> <p>- Consequências: Se não for superada a complexidade da análise de dados na implantação da Indústria 4.0, isso pode gerar uma análise incorreta de dados e impedir a detecção de fraudes, criação de sistemas de recomendação, detecção de falhas industriais, mineração de processos, gerenciamento, dados de máquinas, transporte, análise de mercado, análise de produção e recomendação de novos produtos (KHAN <i>et al.</i>, 2017).</p> <p>Qual sua sugestão para vencer a dificuldade "Complexidade na análise de dados"?</p>
SUA PROPOSTA DE SOLUÇÃO:
Em sua opinião, qual o nível de importância da resolução dessa dificuldade para o processo de implantação da Indústria 4.0? () BAIXO () MÉDIO () ALTO

4.2. Dificuldade na aquisição de dados de automação

- Descrição:

Com as novas possibilidades de integração e necessidade de contextualizar os dados de chão de fábrica, relatórios, controle de consumo, rastreabilidade, dentre outras demandas da Indústria 4.0, fica evidente a árdua atividade de coletar os dados. A aquisição de dados é uma tarefa desafiadora para as empresas devido ao fato de o processo conter diferentes tecnologias, máquinas, sensores, sistemas físico cibernéticos, dispositivos IoT e redes de comunicação (KHAN *et al.*, 2017; GITTLER *et al.*, 2019).

- Relevância:

O termo Aquisição de Dados é usado geralmente quando a tarefa envolve um computador ou outro equipamento digital para armazenar as informações referentes ao processo de uma máquina ou processo. Só é possível a análise e estudo dos dados se a aquisição desses dados e informações sobre um equipamento e/ou processo for realizada corretamente (INSTRUMATIC (2011).

Um exemplo prático da aquisição de dados – ainda durante a terceira revolução industrial, antes mesmo da Indústria 4.0 – diz respeito às operações de uma empresa, cujas informações geradas por cada máquina são coletadas para verificar se tudo está funcionando sem problemas e dentro da meta. São necessárias informações para planejar ordens de produção, organizar cronogramas de manutenção e calcular o número de máquinas e pessoal necessário para a produção (CHOPRA e MEINDL, 2010). Outro exemplo, é o caso das operações logísticas, quando são tomadas decisões para agendar, rotear e escolher o modo de transporte relevante. Os dados podem ser coletados para rastrear veículos ou medir o nível e a localização do armazenamento de inventário (TOWNSEND *et al.*, 2018).

Dados úteis são perecíveis, isto é, a utilidade dos dados muda muito rapidamente. Se as empresas não coletarem os dados necessários em tempo hábil, elas podem estar agindo com informações inválidas e desatualizadas. A análise e o processamento desses dados podem produzir conclusões enganosas e inúteis, que acabam por levar à tomada de decisões imprecisas (CAI e ZHU, 2015).

- Consequências:

Se a organização não for capaz de adquirir dados de forma robusta e com qualidade, tem-se grande probabilidade de fracassar nas etapas futuras da implantação das tecnologias da Indústria 4.0 em seus processos KHAN *et al.*, 2017).

Qual a sua sugestão para solucionar essa dificuldade?

SUA PROPOSTA DE SOLUÇÃO:

Em sua opinião, qual o nível de importância da resolução dessa dificuldade para o processo de implantação da Indústria 4.0?

() BAIXO () MÉDIO () ALTO

4.3. Dificuldade para modelar e integrar dados

- Descrição:

Uma dificuldade enfrentada pelas empresas é a modelagem e integração dos dados de todos os diferentes processos e fontes de dados da empresa. A dificuldade está em lidar com a grande variedade de fontes de dados e das diferentes maneiras em que os dados se apresentam, o que pode atrapalhar a homogeneização de informações e o melhor entendimento dos usuários (KHAN *et al.*, 2017).

- Relevância:

Os modelos de dados são ferramentas que permitem demonstrar como serão construídas as estruturas de dados que darão suporte aos processos de negócios, como os dados estarão organizados e quais os relacionamentos que se pretende estabelecer entre eles. A modelagem serve para organizar a forma de pensamento sobre os dados, demonstrando o significado e a aplicação prática deles. Representa o ambiente, documenta, fornece processos de validação e observa processos relacionados (MIRANDA, 2017).

Já a integração de dados envolve a combinação de dados que residem em diferentes fontes e fornece aos usuários uma visão unificada deles (REDDY, 2019).

Modelar e integrar os dados de forma correta dá a permissão para controlar e operar máquinas e processos automatizados em tempo real e ainda, por exemplo, estimar o custo do produto. Dessa forma, a empresa proverá informações específicas para todos os processos até o usuário final (KHAN *et al.*, 2017).

- Consequências:

Não ter um modelo que explique as características de funcionamento e comportamento de um software e também não integrar os diferentes dados e informações presentes em um processo permite o surgimento de erros de programação, projeto e funcionamento e o conseqüente revés no processo de implantação das tecnologias da Indústria 4.0

Como as empresas podem superar essa dificuldade?

SUA PROPOSTA DE SOLUÇÃO:

Em sua opinião, qual o nível de importância da resolução dessa dificuldade para o processo de implantação da Indústria 4.0?

() BAIXO () MÉDIO () ALTO

4.4. Falta de infraestrutura e redes baseadas na internet

- Descrição:

No contexto da Indústria 4.0, onde o número e a heterogeneidade de sensores podem ser muito grandes e os requisitos de tempo são muito rigorosos, surge o desafio de projetar infraestruturas eficazes para interagir com esses sistemas complexos (VITA *et al.*, 2020). A carência de dispositivos com capacidade de processamento satisfatória e de infraestrutura robusta necessária para garantir a qualidade e rapidez na conexão com a Internet é uma dificuldade presente em grande parte das empresas que estão implantando a Indústria 4.0 (BEDEKAR, 2017).

Pesquisa realizada entre 227 indústrias localizadas no Estado de São Paulo, 1º polo econômico do Brasil, indicou que apenas 18% das empresas consideram sua infraestrutura de redes baseadas na Internet adequada para suportar as tecnologias da Indústria 4.0 (VDI, 2020).

- Relevância:

Em termos gerais, a infraestrutura de tecnologia da informação e comunicação diz

respeito ao conjunto de elementos, além de todo o equipamento relacionado à tecnologia da informação, usado para desenvolver, testar, fornecer, monitorar e controlar sistemas e processos (GAIDARGI, 2018). A infraestrutura é composta pelos elementos (COMDESK, 2020):

- **Hardware:** consiste na tecnologia para processamento computacional, armazenamento, entrada e saída de dados. Inclui, também, equipamentos para reunir e registrar dados, meios físicos para armazená-los e os dispositivos de saída da informação processada;

- **Software:** é dividido em softwares de sistema e de aplicativos. Os de sistema administram os recursos e as atividades do computador. Os de aplicativos direcionam o computador a uma tarefa específica solicitada pelo usuário;

- **Rede:** proporciona conectividade de dados entre funcionários, clientes e fornecedores. Isso inclui a tecnologia para operar as redes internas da organização, os serviços prestados por companhias telefônicas ou de telecomunicações e a tecnologia para operar sites e conectar-se com outros sistemas computacionais por meio da internet;

- **Serviços:** as organizações precisam de pessoas para operar e gerenciar os outros componentes da infraestrutura de TI, além de ensinar seus funcionários a usar essas tecnologias em suas atividades.

A infraestrutura é composta de recursos físicos e virtuais que suportam o fluxo, armazenamento, processamento e análise de dados (GAIDARGI, 2018).

O acesso à uma infraestrutura bem desenvolvida permite que a empresa tenha agilidade em sua conexão. Isso resulta no controle de dispositivos físicos remotamente (de forma distante) e no acesso em tempo real ao *big data*, sem que haja interferências ou atrasos (LEITÃO et al., 2016).

- Consequências:

No processo de implantação das tecnologias da Indústria 4.0, infraestrutura e instalações precárias geram uma rede de banda larga carregada e, por consequência, demasiadamente lenta. Essa lentidão resulta em atrasos no controle remoto de dispositivos físicos e problemas na conexão e comunicação com outros dispositivos, além da morosa obtenção de informações (PFOHL et al., 2017).

O que você sugere para vencer essa dificuldade?

SUA PROPOSTA DE SOLUÇÃO:

Em sua opinião, qual o nível de importância da resolução dessa dificuldade para o processo de implantação da Indústria 4.0?

() BAIXO () MÉDIO () ALTO

4.5. Falta de integração de plataformas de tecnologia

- Descrição:

Integrar todos os dados gerados pelas tecnologias que compõem a Indústria 4.0 é um grande desafio para as empresas. Essa dificuldade ocorre pelo fato de necessitarem projetar uma interface flexível para integrar diferentes componentes e sistemas de forma eficiente e em tempo real. Um fator que potencializa o entrave é a existência de sistemas legado, que são sistemas antigos que permanecem em operação detendo bancos de dados obsoletos, por geralmente não serem compatíveis com novas tecnologias (MEGA, 2018).

- Relevância:

A integração de plataformas de tecnologia consiste em combinar diferentes programas e aplicativos, de modo a conectá-los em um único ecossistema

corporativo, facilitando a gestão das equipes, a documentação dos processos e os fluxos de trabalho (*workflows*) (QIAN *et al.*, 2019). Na prática, a importância da integração de plataformas diz respeito às demandas impostas pelo mercado competitivo, com clientes críticos, seletivos e sedentos por personalização e boas experiências no atendimento (QUALITOR, 2020).

A integração de plataformas de tecnologia é essencial para uma comunicação eficaz, tendo como vantagens destacadas (ZHOU *et al.*, 2015):

- Maior agilidade: não existe o retrabalho de inserir diversas vezes a mesma informação em todas as plataformas utilizadas, garantindo uma gestão integrada;
- Maior confiabilidade: como cada sistema busca informações diretamente na fonte, deixa todos os processos mais confiáveis;
- Aumento da produtividade: os colaboradores têm mais tempo para se dedicar a outros processos; e
- Redução de custos: o ganho em produtividade da equipe e a diminuição de erros incorrerá diretamente em redução de custos operacionais do negócio.

- Consequências:

Uma empresa que não tem a eficiência na integração de plataformas de tecnologia está sujeita a cometer erros operacionais (duplicar dados, por exemplo), aumentar a burocracia em seus processos, impactando em sua produtividade e na malsucedida análise e composição de informações.

Qual a sua sugestão para solucionar essa dificuldade?

SUA PROPOSTA DE SOLUÇÃO:

Em sua opinião, qual o nível de importância da resolução dessa dificuldade para o processo de implantação da Indústria 4.0?
 BAIXO MÉDIO ALTO

4.6. Falta de padronização dos dados

- Descrição:

Apresentar dados e informações em diferentes formatos para diferentes usuários é uma grande dificuldade para as empresas que estão implantando as tecnologias da Indústria 4.0.

Entraves enfrentados com a padronização dos dados não começaram a ser discutidos apenas com a chegada da Indústria 4.0. Antes, com as tecnologias da informação e comunicação, buscando a padronização de dados, são relatados: as incertezas sobre os dados obtidos pela transferência e integração da informação de softwares; a comunicação necessária entre a indústria, para que se proceda a padronização, é ineficiente; o volume de procedimentos da empresa também é um fator limitante, afinal, quanto maior a quantidade de procedimentos, mais informações necessitam ser padronizadas (JACOSKI e LAMBERTS, 2003).

Além disso, algumas questões técnicas também obstruem a padronização de dados, como por exemplo, a incompatibilidade de *hardware* e a interoperabilidade de *softwares* entre a cadeia de participantes que não são compatíveis (KHAN *et al.*, 2017).

- Relevância:

A exposição dos dados é necessária em diferentes formas no contexto da Indústria 4.0. O operador que opera as máquinas precisa que os dados sejam mostrados de forma simples para controlar as máquinas remotamente. Os analistas de dados precisam do *Big Data* para mineração e extração de informações úteis. Desenvolvedores e programadores estão interessados em todos os formatos de

dados disponíveis para atualização e adição de novos módulos. Os dirigentes das empresas querem diferentes tipos de relatórios. Os clientes precisam de dados detalhados de diferentes produtos para compra (BRANKE et al., 2016).

Na medida em que as empresas padronizam os dados de forma eficiente, em todos os níveis necessários, alguns benefícios podem ser observados (INGIRIGE et al., 2001). Mesmo sendo relatados em eras industriais anteriores, ainda se estendem e valem perfeitamente para a Indústria 4.0. Os benefícios são:

- Redução do tempo de discussões;
- Melhoria na qualidade da informação disponível para os usuários;
- Melhoria na integração e comunicação interna, proporcionando acréscimo de produtividade; e
- Facilidade para automação de tarefas.

- Consequências:

Sem a padronização dos dados não é possível alcançar a interoperabilidade, dificultando ou até mesmo impossibilitando o entendimento de informações apresentadas para os mais diversos usuários como operadores, analistas de dados, desenvolvedores e programadores, dirigentes das empresas, e clientes, dificultando o bom desempenho da implantação da Indústria 4.0 (BRANKE et al., 2016).

Qual sua sugestão para superar essa dificuldade?

SUA PROPOSTA DE SOLUÇÃO:

Em sua opinião, qual o nível de importância da resolução dessa dificuldade para o processo de implantação da Indústria 4.0?
 BAIXO MÉDIO ALTO

4.7. Má qualidade de dados existentes

- Descrição:

Apesar da grande variedade, do enorme volume e da rápida velocidade na obtenção dos dados (por meio do *Big Data*), a qualidade desses dados está longe de ser perfeita, sendo uma preocupante dificuldade para as empresas na implantação da Indústria 4.0 (GHASEMAGHAEI et al. 2017).

A diversidade de fontes de dados aumenta a dificuldade em garantir a precisão dos dados que estão integrados. Quando as empresas integram em larga escala diferentes tipos de dados provenientes de várias fontes, é difícil garantir a qualidade dos dados (CAI e ZHU, 2015). Pesquisa indica que apenas 25% das empresas relataram que o processamento e a análise de *big data* lhes permitiram melhorar seus resultados significativamente. Esse baixo número é reflexo da má qualidade dos dados (HENKE et al., 2016).

- Relevância:

“Qualidade dos dados” é definida como “dados adequados ao uso”. É um fator crítico para qualquer programa de análise de dados e um dos principais requisitos para a implantação bem-sucedida da Indústria 4.0, indispensável para gerar informações e decisões corretas ao longo da trajetória digital (SANTOS et al., 2017). Embora existam ferramentas avançadas de análise de dados que podem detectar informações úteis de uma grande quantidade de dados heterogêneos, os resultados e o valor final do processamento e análise do *Big Data* serão influenciados pela qualidade dos dados (GHASEMAGHAEI et al. 2017).

A qualidade de dados é dividida em dimensões (CAI e ZHU, 2015):

- Precisão: é a proximidade de um valor do dado a um valor considerado correto;
- Integridade: definido como o grau em que uma determinada coleta de dados inclui

todos os valores de dados esperados;

- Pontualidade: avalia a validade temporal dos dados e expressa o quão “atual” são os dados analisados; e

- Consistência: refere-se à violação de regras semânticas definidas em um conjunto de itens de dados.

Como as empresas têm acesso a grandes quantidades de dados – evento que se potencializou com o surgimento da Indústria 4.0 – a importância da qualidade dos dados aumentou (BAESENS *et al.*, 2016).

Quanto maior o acesso a dados completos, oportunos e precisos, maior a confiabilidade e utilidade desses dados na geração de informações e *insights* valiosos (FILIERI, 2015). O conceito de uma boa qualidade de dados visa melhorar os resultados das tomadas de decisão, permitindo análises de dados confiáveis e aumentando a eficiência do manuseio de informações (SCHUH *et al.* 2019).

- Consequências:

Sem qualidade nos dados obtidos, a prática de inovações da Indústria 4.0 se torna complexa. As empresas estão suscetíveis a tomarem decisões erradas quando processam dados com baixa qualidade, podendo encontrar dados duplicados, com formatação inadequada, ausência de informações importantes, dados obsoletos e incoerentes, resultando em análises e projeções ruins, além da possibilidade de perdas financeiras e de vantagem competitiva (SANTOS *et al.*, 2017).

Qual sua sugestão para superar a dificuldade "Má qualidade de dados existentes"?

SUA PROPOSTA DE SOLUÇÃO:

Em sua opinião, qual o nível de importância da resolução dessa dificuldade para o processo de implantação da Indústria 4.0?
 BAIXO MÉDIO ALTO

4.8. Problemas de Segurança dos dados

- Descrição:

Uma dificuldade para as empresas é impedir o vazamento de dados importantes e sigilosos e a vulnerabilidade à exposição de informações estratégicas da organização para concorrentes ou até mesmo a ataques de *hackers* para controlarem maquinários físicos. A grande preocupação está na segurança contra as ameaças externas, acidentais ou intencionais, de modificação não autorizada, roubo ou destruição dos dados (KHAN *et al.*, 2017).

- Relevância:

Segurança dos dados é um aspecto essencial que agrega valor aos dados e sua implementação se tornou uma necessidade real e deve ser adotada antes de qualquer exploração de dados. A segurança da informação trabalha com três princípios (TALHA *et al.*, 2019):

- Confidencialidade: o acesso aos dados da empresa deve ser restrito somente a quem é autorizado;

- Integridade: sem a proteção ideal, as informações da organização podem ser acessadas e modificadas por *hackers*. Mas também podem haver acidentes, causados por equívocos de algum colaborador, o que pode levar a empresa a ter enormes prejuízos;

- Disponibilidade: os dados devem estar disponíveis durante todo o tempo, para serem usados como fonte de informação para a tomada de decisões.

Na Indústria 4.0, a maioria dos dados é transmitida pela *Internet* e eles são

armazenados no ambiente de computação em nuvem. Como a computação em nuvem fornece serviços baseados na *Internet*, existem muitos invasores e usuários mal-intencionados que tentam acessar os dados confidenciais de um usuário ou empresa sem ter a devida permissão de acesso. Ocorre ainda de realizarem a substituição de dados originais por quaisquer outros dados falsos, o que preocupa cada vez mais as empresas (NAMASUDRA *et al.*, 2020).

Aplicando a segurança dos dados de forma consistente, as empresas poderão evitar alguns tipos de ataques cibernéticos, destacando:

- Introdução de *Malware*: invasores e usuários mal-intencionados injetam *scripts* mal-intencionados no servidor em nuvem e, quando esse código está sendo executado, eles acessam dados confidenciais. Às vezes, esse tipo de introdução é despercebido por um longo tempo, o que cria um problema sério no ambiente em nuvem (EZE e E., 2018);

- Ataque de *Side-Channel*: *hackers* e usuários são usados para colocar uma Máquina Virtual mal-intencionada ou não autorizada no mesmo *host* para obter dados ou informações confidenciais (SEGINFO, 2019);

- Ataque de *Phishing*: usuário mal-intencionado, não autorizado ou *hacker* obtém informações confidenciais de um usuário autorizado da organização, como ID do usuário, número do ID do usuário entre outras. Em seguida, o invasor utiliza essas informações sigilosas para obter qualquer serviço não autorizado do servidor em nuvem (NAMASUDRA *et al.*, 2020);

- Ataque Interno: um usuário ou invasor mal-intencionado viola qualquer política de segurança da organização para acessar qualquer dado ou serviço. Em um ambiente em nuvem, qualquer entidade pode ser um invasor para tentar um ataque interno (EZE e E., 2018); e

- Ataques de Negação de Serviços (DoS): invasores ou usuários mal-intencionados enviam inúmeras solicitações ao servidor em nuvem para tornar os serviços indisponíveis aos usuários da empresa (PRAKASH *et al.*, 2016).

Quando a segurança de dados é bem aplicada, a empresa é capaz de se blindar contra ataques digitais, desastres tecnológicos ou falhas humanas, protegendo todos os dados importantes (KHAN *et al.*, 2017).

- Consequências:

Se a organização não estiver alinhada com a segurança dos dados, a vulnerabilidade à ataques, intencionais ou não, e a consequente exposição de dados sigilosos poderá resultar em graves consequências e comprometer a implantação das tecnologias da indústria 4.0 em seus processos (TALHA *et al.*, 2019).

O que você sugere para vencer essa dificuldade?

SUA PROPOSTA DE SOLUÇÃO:

Em sua opinião, qual o nível de importância da resolução dessa dificuldade para o processo de implantação da Indústria 4.0?

() BAIXO () MÉDIO () ALTO

4.9. Questões Legais

- Descrição:

Os dados se tornaram os ativos mais preciosos das empresas e lidar com os dados de outras companhias, clientes e fornecedores requer bastante cautela. É imprescindível que as empresas levem em consideração as questões legais para não cometerem ou serem vítimas de crimes cibernéticos. É de extrema dificuldade

para as empresas que pretendem implantar a Indústria 4.0 impedir ações que comprometam a disponibilidade, autenticidade, integridade ou confidencialidade dos dados (SCHRÖDER, 2016).

- Relevância:

É um requisito essencial de qualquer organização proteger dados críticos e garantir que sistemas e redes de terceiros não sofram ataques cibernéticos. Uma análise regular de vulnerabilidade na atualidade é uma necessidade central para qualquer empresa proteger seus principais bancos de dados e também de clientes e fornecedores (SARALA *et al.*, 2016).

As empresas devem levar as questões legais em consideração pois os riscos à proteção dos dados estão relacionados à disponibilidade, confidencialidade e integridade. Cite-se como exemplo, os dados de clientes que são vazados ao público em geral (confidencialidade), sistemas que deixam de operar devido a falhas técnicas (disponibilidade) e alterações de informações em bancos de dados que causam o processamento errado de dados (integridade) (TOTVS, 2018).

O Relatório Anual de Violação de Dados, emitido pela IBM, cuja abrangência é global, enfatiza que o custo médio de violação de dados é de 3,86 milhões de dólares, com um custo médio de 48 dólares por registro roubado ou perdido IBM (2018). Esses custos, além de encargos jurídicos, podem levar uma empresa à falência, dependendo das questões legais negociadas (MÜLLER *et al.*, 2017a).

- Consequências:

Se um invasor acessar dados confidenciais de uma empresa, terá grandes riscos de os mesmos serem violados. Violações de informações ou violação de dados podem desencadear devastações e prejudicar a reputação de uma organização por anos. As violações de dados têm consequências de longo alcance, de perda de negócios a multas administrativas e custos de correção. Portanto, caso ocorra qualquer tipo de vazamento de informações, o custo despendido para tratar de ações jurídicas relacionadas à legalidade dos dados é altíssimo, além de expor negativamente a imagem da organização (PATSAKIS, 2013).

Qual sua sugestão para superar essa dificuldade?

SUA PROPOSTA DE SOLUÇÃO:

Em sua opinião, qual o nível de importância da resolução dessa dificuldade para o processo de implantação da Indústria 4.0?

() BAIXO () MÉDIO () ALTO