

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E  
SISTEMAS**

**NATIELI MARIA GALERA**

**MÉTODO PARA IDENTIFICAR E ANALISAR AS  
PRÁTICAS DA INDÚSTRIA 4.0 NO SETOR MOVELEIRO**

**DISSERTAÇÃO**

**PATO BRANCO  
2020**

**NATIELI MARIA GALERA**

**MÉTODO PARA IDENTIFICAR E ANALISAR AS PRÁTICAS DA  
INDÚSTRIA 4.0 NO SETOR MOVELEIRO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *Campus* Pato Branco – PR.

Orientador: Prof. Dr. Flavio Trojan

**PATO BRANCO**

**2020**

G154m Galera, Natieli Maria.  
Método para identificar e analisar as práticas da indústria 4.0 no setor moveleiro /  
Natieli Maria Galera. – 2020.  
104 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Flavio Trojan  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa  
de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas. Pato Branco, PR, 2020.  
Inclui bibliografia.

1. Indústrias. 2. Indústria de móveis. I. Trojan, Flavio, orient. II. Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de  
Produção e Sistemas. III. Título.

CDD 22. ed. 670.42

Ficha Catalográfica elaborada por  
Maria Juçara Vieira da Silveira CRB9/1359  
Biblioteca da UTFPR Campus Pato Branco



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Pato Branco  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de  
Produção e Sistemas



## TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº 66

A Dissertação de Mestrado intitulada "**Método para identificar e analisar as práticas da Indústria 4.0 no setor moveleiro**", defendida em sessão pública pela candidata Natieli Maria Galera, no dia 14 de agosto de 2020, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, área de concentração Gestão dos Sistemas Produtivos, linha de pesquisa Modelos e Métodos de Suporte à Tomada de Decisão, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Flavio Trojan – Presidente – UTFPR

Prof. Dr. Dalmarino Setti – UTFPR

Prof. Dr. Gilson Adamczuk Oliveira – UTFPR

Prof.<sup>a</sup> Dra. Lirane Elize Defante Ferreto – UNIOESTE

Este Termo de Aprovação encontra-se na pasta da aluna na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação realizada após a entrega da versão final, incluindo correções necessárias, permitindo o encaminhamento para análise e publicação no Repositório Institucional.

Pato Branco, 08 de outubro de 2020.

Prof. Dr. Fernando José Avancini Schenatto  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Produção e Sistemas

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me proporcionado a oportunidade de ter realizado o mestrado com saúde, proteção e força.

Agradeço de forma muito especial à minha família, aos meus pais Adailson Marcos Galera e Adriane Lucca Galera, ao meu namorado Fernando Roberto Colla e seus pais, pelo apoio, compreensão, paciência e incentivo para o meu crescimento pessoal e profissional.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Flávio Trojan pelo conhecimento repassado, pela sua paciência, compreensão e insistência, que foram essenciais para a elaboração da dissertação e conclusão do mestrado.

A esta Universidade, seu corpo docente, direção e administração, que oportunizaram esta conquista.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela bolsa concedida durante o período do mestrado.

À indústria moveleira do Sudoeste do Paraná, que estiveram de portas abertas para a realização da pesquisa.

Aos meus colegas e professores do mestrado que ouviram minhas reclamações, tristezas e alegrias.

Enfim, a todos que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

## RESUMO

GALERA, N.M. **Método para identificar e analisar as práticas da indústria 4.0 no setor moveleiro.** 2020. 104 folhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2020.

Com o advento da Quarta Revolução Industrial, ou Indústria 4.0, os consumidores estão alterando o modo de aquisição de produtos e serviços, fazendo com que as empresas, principalmente as indústrias, alterem seu modo de produção para atender a essas demandas e exigências. São inúmeras as mudanças que ocorrem com as práticas da Indústria 4.0 nas indústrias, seja na dimensão organizacional, gerencial ou tecnológica. A dimensão organizacional envolve os seres humanos. A dimensão gerencial corresponde aos processos e infraestrutura. E a dimensão tecnológica corresponde à aquisição das tecnológicas da Indústria 4.0. Cada dimensão possui suas próprias práticas da Indústria 4.0. Para a implementação dessas práticas, torna-se necessário aprimorar o conhecimento sobre as mudanças que estão ocorrendo, seja no âmbito econômico, político, tecnológico ou social, bem como o conhecimento sobre a capacidade da indústria em aderir às práticas da Indústria 4.0. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo realizar um diagnóstico sobre o nível de capacitação que a indústria apresenta em relação às práticas da Indústria 4.0. Por meio da pesquisa bibliográfica foi possível definir os 3 critérios (dimensões), as 30 alternativas (práticas da Indústria 4.0), sendo 10 alternativas por critérios que correspondem a um total de 116 indicadores. Após essa definição foi desenvolvido o instrumento de pesquisa, que consiste no percentual do desempenho ideal esperado (definido pelo diretor e sócios da indústria pesquisada), o percentual avaliado e a diferença do mesmo. Sendo assim, foi possível obter um percentual/índice de desenvolvimento de cada prática, que foi utilizado no método de multicritério ELECTRE II, o qual apresentou um *ranking* da prática com pior desempenho em relação à prática com melhor desempenho. Para testar o método utilizou-se uma indústria do ramo moveleiro, localizada no Sudoeste do Paraná, contendo aproximadamente 200 funcionários e que realiza suas vendas no mercado nacional e internacional. Os índices de desenvolvimento levaram em consideração as informações a partir do ano de 2015, visto que a indústria não apresenta dados desde o seu surgimento, que ocorreu em 1992. Os resultados apresentam que a prática com pior desempenho é o fluxo de informação e conhecimento, da dimensão gerencial. Em segundo lugar encontra-se a prática dos níveis hierárquicos, que corresponde à dimensão organizacional e, em terceiro lugar, a prática da Internet das Coisas (IoT), enquadrada na dimensão de tecnologias. A indústria está realizando investimentos e modernizando seus meios produtivos, porém a grande dificuldade encontra-se na dimensão organizacional, a qual envolve a alteração de costumes pré-existentes dos funcionários e na cultura da indústria, além dessa dimensão estar ligada diretamente à adoção das tecnologias da Indústria 4.0.

**Palavras-chaves:** Quarta Revolução Industrial. Práticas da Indústria 4.0. ELECTRE II

## ABSTRACT

GALERA, N.M. **Method to identify and analyze the practices of industry 4.0 in the furniture sector.** 2020. 104 sheets. Dissertation (Master in Production and Systems Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Pato Branco, 2020.

With the advent of the Fourth Industrial Revolution, or Industry 4.0, consumers are changing the way they purchase products and services, causing companies, especially industries, to change their mode of production to meet these demands and requirements. There are countless changes that occur with the practices of Industry 4.0 in industries, whether in the organizational, managerial or technological dimension. The organizational dimension involves human beings. The managerial dimension corresponds to the processes and infrastructure. And the technological dimension corresponds to the acquisition of the technologies of Industry 4.0. Each dimension has its own Industry 4.0 practices. For the implementation of these practices, it is necessary to improve the knowledge about the changes that are occurring, be it in the economic, political, technological or social spheres, as well as the knowledge about the capacity of the industry to adhere to the practices of Industry 4.0. In this context, this work aimed to make a diagnosis about the level of training that the industry has in relation to the practices of Industry 4.0. Through bibliographic research it was possible to define the 3 criteria (dimensions), the 30 alternatives (Industry 4.0 practices), 10 alternatives by criteria that correspond to a total of 116 indicators. After this definition, the research instrument was developed, which consists of the percentage of the expected ideal performance (defined by the director and partners of the researched industry), the percentage evaluated and the difference between it. Thus, it was possible to obtain a percentage / development index for each practice, which was used in the ELECTRE II multi-criteria method, which presented a ranking of the practice with the worst performance in relation to the practice with the best performance. To test the method, a furniture industry was used, located in the Southwest of Parana, containing approximately 200 employees and which sells in the national and international market. The development indices took into account the information from 2015, since the industry has not presented data since its inception, which occurred in 1992. The results show that the practice with the worst performance is the flow of information and knowledge, the managerial dimension. In second place is the practice of hierarchical levels, which corresponds to the organizational dimension and, in third place, the practice of the Internet of Things (IoT), framed in the dimension of technologies. The industry is making investments and modernizing its productive means, however the great difficulty is found in the organizational dimension, which involves changing the pre-existing customs of employees and the culture of the industry, in addition to this dimension being directly linked to the adoption of technologies of Industry 4.0

**Keywords:** Fourth Industrial Revolution. Industry Practices 4.0. ELECTRE II.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Síntese das Práticas da Indústria 4.0 .....	22
Figura 2: Arquitetura ISA-95 .....	37
Figura 3: Arquitetura CPS5C .....	38
Figura 4: IoT do ponto de vista industrial .....	39
Figura 5: Setores que utilizam a manufatura aditiva .....	46
Figura 6: Funcionamento da Tecnologia RA .....	47
Figura 7: Estrutura do modelo .....	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Exemplo da matriz para avaliação e seu resultado na indústria .....	77
Tabela 2: Dados Mundiais do Setor de Móveis 2015.....	78
Tabela 3: Dados da Indústria de Móveis por região - 2016.....	79
Tabela 4: Pesos dos critérios .....	83
Tabela 5: Matriz de Avaliação para o ELECTRE II .....	83
Tabela 6: Matriz de Concordância e Discordância do método ELECTRE II .....	84
Tabela 7: Ranking inverso das práticas da Indústria 4.0 .....	85

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Principais características das Revoluções Industriais.....	20
Quadro 2: Práticas da Estrutura Organizacional.....	27
Quadro 3: Estágios do planejamento estratégico.....	30
Quadro 4: Processo do Big Data .....	41
Quadro 5: Tipos de Problemáticas .....	48
Quadro 6: Situações consolidadas de preferências do decisor .....	49
Quadro 7: Situações consolidadas de preferências do decisor .....	50
Quadro 8: Tipos de estruturas de ordem.....	50
Quadro 9: Classificação dos métodos de multicritério.....	51
Quadro 10: Escala Saaty.....	51
Quadro 11: Matriz de Decisão AHP.....	52
Quadro 12: Versões da família ELECTRE.....	53
Quadro 13: Métodos de multicritério utilizados no contexto industrial e na Indústria 4.0 .....	56
Quadro 14: Procedimento para seleção do portfólio bibliográfico.....	58
Quadro 15: Práticas da Indústria 4.0 .....	60
Quadro 16: Indicadores das Práticas da Indústria 4.0 .....	63

## LISTA DE ABREVIATURAS

AM	Manufatura Aditiva
AR	Realidade Aumentada
BLE	Bluetooth
BOL	Beginning-of-Life
CE	Economia Circular
CMM	Capability Maturity Model
CPS	Sistemas Cyber-Físicos
ELECTRE	Elimination Et Choix Traduisant la Réalité
IoS	Internet de Serviços
IoT	Internet das Coisas
JIS	Sistema just-in-sequence
JIT	Sistema just-in-time
MBO	Abordagem do Gerenciamento por Objetivo
MOL	Middle-Of-Life
NSF	National Science Foundation
OLX	OnLine Exchange
PME	Pequenas e Médias Empresas
SE	Economia Compartilhada
STP	Sistema Toyota de Produção
TCO	Custo Total de Propriedade
TI	Tecnologia da Informação
TIC	Tecnologia de Informação e Comunicação

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1 OBJETIVO GERAL .....	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
1.3 JUSTIFICATIVA .....	16
1.4 ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA .....	18
1.5 LIMITAÇÕES .....	18
<b>2.0 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	18
2.1 HISTÓRICO DAS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS .....	18
2.2 QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL .....	20
2.3 DIMENSÕES DA INDÚSTRIA 4.0 .....	22
2.3.1 Organizacionais .....	22
2.3.1.1 Cultura .....	23
2.3.1.2 Ambiente de trabalho .....	23
2.3.1.3 Lideranças .....	24
2.3.1.4 Recursos Humanos .....	25
2.3.1.5 Desenvolvimento Pessoal e Profissional .....	26
2.3.1.6 Habilidades Profissionais .....	26
2.3.1.7 Redução dos níveis hierárquicos .....	27
2.3.1.8 Aprendizagem Contínua .....	28
2.3.1.9 Desemprego tecnológico .....	28
2.3.1.10 Conscientização das tendências tecnológicas .....	29
2.3.2 Gerencial .....	29
2.3.2.1 Estrutura Organizacional .....	30
2.3.2.2 Novos modelos de negócios .....	30
2.3.2.3 Novos canais de vendas .....	31
2.3.2.4 Clientes .....	32
2.3.2.5 Produção Enxuta .....	32
2.3.2.6 Processos Produtivos .....	33
2.3.2.7 Fluxo de Materiais .....	34
2.3.2.8 Fluxo de Informação e Conhecimento .....	35
2.3.2.9 Integração dos sistemas .....	35
2.3.2.10 Infraestrutura de TIC .....	36
2.3.3 Tecnológicas .....	37
2.3.3.1 Sistemas Ciber Físicos (CPS) .....	37
2.3.3.2 Internet das Coisas (IoT) .....	39
2.3.3.3 Internet de Serviços (IoS) .....	40
2.3.3.4 Big Data .....	41
2.3.3.5 Robótica .....	42
2.3.3.6 Simulação .....	43
2.3.3.7 Segurança Cibernética .....	43
2.3.3.8 Computação em Nuvem .....	44
2.3.3.9 Manufatura Aditiva (AM) .....	45
2.3.3.10 Realidade Aumentada .....	46
2.4 MÉTODO DE APOIO MULTICRITÉRIO À TOMADA DE DECISÃO .....	47
2.4.1 Tipos de Problemáticas .....	48
2.4.2 Relações de Preferência .....	49
2.4.1 MÉTODO AHP .....	51
2.4.3 Método Multicritério da Família ELECTRE .....	53
2.4.3.1 ELECTRE II .....	54

<b>3.0 METODOLOGIA</b> .....	57
3.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO .....	57
3.2 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO .....	58
3.3 ESTRUTURA DO MODELO.....	59
3.3.1 Definição das Alternativas.....	60
3.3.2 Instrumento de pesquisa .....	62
3.4 APLICAÇÃO DO MODELO .....	77
3.4.1 Caracterização do estudo .....	78
3.4.2 Apresentação da indústria para aplicação.....	81
<b>4. RESULTADOS</b> .....	86
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	89
5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS .....	91
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	92
<b>APÊNDICE A – Matriz de Avaliação do Método ELECTRE II</b> .....	100

## 1. INTRODUÇÃO

Desde o ano de 1750 os ambientes industriais vêm se transformando naturalmente conforme as alternâncias do mercado, suas necessidades, preferências dos clientes e práticas nos sistemas operacionais internos. Essas transformações são ocasionadas pelas revoluções industriais que continuaram progredindo (TUNZELMANN, 2003; THOBEN; WESNER; WUEST, 2017). Tais transformações reforçam a necessidade de as empresas reavaliarem suas estratégias, melhorando a eficiência dos processos produtivos e de toda a sua cadeia de valor para, assim, adquirir maior representatividade nos mercados nacionais e internacionais (GLIGOR; HOLCOMB, 2012).

No ano de 2011, na Alemanha, tais mudanças levaram ao surgimento da Quarta Revolução Industrial, também conhecida como Indústria 4.0, que tem com finalidade conectar e interligar o mundo real com o virtual através de sistemas *cyber* físicos (CPS), para trazer a otimização nos meios produtivos e atender de forma personalizada aos clientes. De acordo com Agostini e Filippini (2019), a Indústria 4.0 dispõe de práticas para as empresas manterem-se competitivas no mercado, oferecendo oportunidades e novos modelos de negócio, mas também apresenta alguns desafios gerenciais, organizacionais e tecnológicos.

Segundo Almada-Lobo (2016), diferente das demais revoluções industriais, a Quarta Revolução Industrial está sendo planejada e projetada, fazendo com que as empresas e governos consigam planejar suas estratégias para essa transformação industrial. Alguns países já se destacam pela busca e investimentos em estratégias voltadas à Indústria 4.0.

Segundo dados do IEDI (2017), os Estados Unidos investiu 496 bilhões de dólares em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) para a Indústria 4.0, a Alemanha introduziu pacotes políticos e financeiros, realizou parcerias com indústrias privadas que pretendem investir 2,5 bilhões de euros em pesquisa na área da Indústria 4.0. Já a China criou Fundo de Investimento de Manufatura Avançadas que possui perto de 2,7 bilhões de euros, recurso oriundo do governo central, Bando Industrial e Comercial da China, da Cooperação Estadual de Desenvolvimento e Investimento (SDIC), entre outros.

No Brasil o governo lançou um programa que conta com 8,6 bilhões de reais para financiar indústrias a zerar a alíquota para importação de robôs e também para incentivar as indústrias brasileiras a se desenvolverem no contexto da Indústria 4.0. Também possui o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDS) que conta com 5 bilhões de crédito para as indústrias. No ano de 2019 o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviço (MDIC) irá destinar aproximadamente 30 milhões de reais para incentivar *startups* para as indústrias desenvolverem soluções tecnológicas (PUPO; SIMÃO, 2018).

Apesar desses incentivos, um estudo da Cornell University (2018) apresenta o país na posição de 64º do índice de inovação de 64º, entre 126 países. E a Confederação Nacional da Indústria (CNI) apresenta que 40% de toda produção brasileira não possui a realidade digital e tecnológica.

Segundo Basseto (2019), a Quarta Revolução Industrial traz muitos benefícios, porém apresenta um grau de complexidade muito alto. Conforme Kademete e Twinomurinzi (2019), nem todas as empresas vão conseguir adaptar-se às mudanças da Quarta Revolução Industrial nos meios produtivos, visto que cada empresa possui características próprias e as atividades e decisões são realizadas por pessoas que possuem preferências e visões diferentes sobre os diversos problemas encontrados no dia a dia das empresas e sobre suas soluções. Isso conduz a desenvolvimentos particulares, alguns mais conservadores, outros mais avançados.

Conforme Becker, Knackstedt e Pöppelbuss (2009), para auxiliar as empresas nessas transformações tecnológicas que estão acontecendo, existem os modelos de maturidade da Indústria 4.0. Nas análises desses modelos encontra-se a lacuna de pesquisa, a qual consiste em compreender as empresas antes de medir o nível de maturidade, ou seja, o nível de maturidade resulta apenas se a indústria está ou não enquadrada nos conceitos da Indústria 4.0.

É nesse sentido que o processo para implementar ou melhorar as práticas da Indústria 4.0 nos ambientes industriais é complexo e requer muito esforço, persistência e colaboração de todos os integrantes da indústria. De acordo com Schumacher e Erol (2016), as indústrias necessitam de uma abordagem que apresente um roteiro sequencial para as implantações das práticas da Indústria 4.0, em que apresente a situação real das indústrias e identifique os pontos a serem melhorados.

Nesse contexto, para atingir o objetivo proposto e solucionar a problemática desta pesquisa, é necessário compreender as particularidades do ramo que a empresa atua seus elementos organizacionais, gerenciais e tecnológicos, bem como quais são os indicadores de cada prática da Indústria 4.0 que estão sendo analisados. Após esse entendimento, verificar quais são os possíveis indicadores que ajudem na análise de cada prática<sup>1</sup> da Indústria 4.0 para que sejam implantadas ou melhoradas. Consequentemente, a indústria estará a caminho da Quarta Revolução Industrial.

Tendo em vista o contexto apresentado, esta pesquisa está norteada pelo seguinte questionamento: Como as empresas poderiam ser avaliadas em relação às práticas da Indústria 4.0 para promover melhoramentos e se enquadrarem no conceito da Indústria 4.0?

### 1.1 OBJETIVO GERAL

Propor uma metodologia de diagnóstico das práticas da Indústria 4.0, através de indicadores, para melhorar o nível de capacitação das empresas nesse contexto.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Identificar na literatura quais são as práticas que levam as indústrias a atingir o nível de capacitação da Quarta Revolução Industrial;
- b) Definir os indicadores que estão ligados às práticas identificadas;
- c) Mensurar esses indicadores em uma indústria do ramo moveleiro, localizada na Região do Sudoeste do Paraná;
- d) Quantificar os dados e aplicar um método multicritério para realizar um ranking das práticas utilizadas.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Os produtos a serem colocados no mercado sofreram uma grande alteração. Até a década de 70 quem definia o que seria produzido era o empresariado. Esse período era denominado como *product out*. Após a crise do petróleo em 1973 esse

---

<sup>1</sup> Nesta pesquisa, o conceito de prática representa a execução de cada tópico que compõe cada dimensão na Indústria 4.0.

cenário modificou-se e passou a ser designado como *market in*, em que a demanda é que determinava os produtos a serem produzidos e consumidos. Assim, as indústrias tiveram que buscar mecanismos e métodos para manterem-se competitivas no mercado (ANTUNES, 2009).

As práticas da Indústria 4.0 contêm métodos para as empresas agregarem valor à cadeia produtiva e manterem-se competitivas no mercado. As práticas voltadas à dimensão tecnológica proporcionam conectividade, automação e independência nos meios produtivos, ocasionando uma produção dinâmica e flexível, atendimento de forma personalizada aos clientes e a geração e segurança dos dados em tempo real, auxiliando nas tomadas de decisões de forma assertiva e eficiente (PEREIRA; ROMERO, 2017).

A implantação das práticas tecnológicas exige diversos esforços e mudanças nas práticas organizacionais e gerenciais, pois envolve a adaptação de pessoas a novas atividades e funções, modificando a cultura industrial. Envolve também recursos financeiros e a estrutura física para a aquisição das tecnologias. A não adoção das práticas da Indústria 4.0 aumenta a probabilidade de a indústria perder vantagem competitiva e ser fadada ao insucesso.

Contudo, Carolis *et al.* (2017) afirma que muitas incertezas cercam essas práticas, uma vez que as indústrias carecem de conhecimento e informação para desenvolver um roteiro para atingir o nível 4.0. A definição desse roteiro é complexa, pois envolve toda a cadeia produtiva e a implantação de diferentes práticas e tecnologias. Porém, antes de começar a implantação é necessário compreender a situação atual da indústria, sua capacidade produtiva, os recursos financeiros e a cultura para, em seguida, priorizar quais práticas da Indústria 4.0 são necessárias para a obtenção de resultados positivos.

A contribuição desta pesquisa, do ponto de vista acadêmico, consiste em compactar os diversos componentes da Indústria 4.0 em três dimensões, que são: organizacionais (pessoas), gerenciais (estrutura e processo) e tecnológicas (tecnologias), assim como apresentar as práticas da Indústria 4.0 de cada dimensão e os seus indicadores. Em relação ao aspecto econômico, a pesquisa expressa a importância que as práticas da Indústria 4.0 proporcionam às indústrias, estimulando o aumento de produtividade e flexibilidade, a padronização nas linhas de produção, o atendimento

personalizado ao cliente, entre outros benefícios. No âmbito social visa apresentar as novas habilidades e os desafios que o mercado de trabalho exigirá das pessoas.

#### 1.4 ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA

A presente dissertação está estruturada em cinco capítulos. No primeiro capítulo é apresentada a contextualização do tema, o objetivo geral, os objetivos específicos, a justificativa para a escolha da temática e as limitações da pesquisa. No segundo capítulo consta a revisão bibliográfica, que relata de forma abrangente o histórico das três primeiras Revoluções Industriais, bem como a Quarta Revolução Industrial, suas práticas e o método de multicritério ELECTRE II. No terceiro capítulo são descritos o enquadramento metodológico, os procedimentos da pesquisa, a aplicação do modelo e as características do setor moveleiro e da indústria pesquisada. O quarto capítulo apresenta os resultados. Já o quinto capítulo discute as considerações finais e aponta sugestões para trabalhos futuros e, por fim, apresenta-se as referências utilizadas na pesquisa e o apêndice.

#### 1.5 LIMITAÇÕES

Quanto às limitações da presente dissertação, identificou-se na busca do referencial teórico que a literatura é vasta em inúmeros trabalhos relacionados ao tema Indústria 4.0, tratando o mesmo de uma forma abrangente, principalmente em relação aos aspectos tecnológicos. Isso ocasionou dificuldades ao pesquisador em agrupar as práticas da Indústria 4.0 em uma única pesquisa, cabendo ressaltar que esta dissertação não esgota a investigação sobre o tema.

No que se refere à obtenção dos resultados, a utilização de outros métodos de sobreclassificação similares ao ELECTRE II podem obter resultados diferentes, mesmo em cenários similares. O resultado também pode alterar conforme os sujeitos envolvidos na pesquisa.

## 2.0 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico está organizado em quatro seções. A primeira sessão contém um breve histórico das três primeiras Revoluções Industriais. Na segunda sessão é discutida a Quarta Revolução Industrial, bem como as três dimensões da Quarta Revolução Industrial, suas práticas e indicadores. E por fim, a última sessão apresenta como o método foi escolhido.

### 2.1 HISTÓRICO DAS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS

A Primeira Revolução Industrial iniciou no século XVIII e caracterizou-se pela transformação do trabalho manual em trabalho mecanizado através da utilização de máquinas, equipamentos e ferramentas no processo de fabricação dos produtos. Conseqüentemente, o processo tornou-se mais ágil, com produtos padronizados, melhores lucros e geração de empregos. O surgimento das máquinas, telégrafo, equipamentos e ferramentas foram considerados como formas de tecnologia naquela época (TUNZELMANN, 2003); (SUBTIL, 2014); (TAMÁS; ILLÉS; DOBOS, 2016).

O processo produtivo daquela época era de forma artesanal, representando maior controle, qualidade, atendimento personalizado ao cliente e, conseqüentemente, a empresa tornava-se mais competitiva e especializada no ramo que atuava. Uma vantagem que as empresas tinham nesse período era o mercado no modo de governança, isto é, as empresas autorregularizavam-se sem a intervenção do governo. Assim, o valor dos impostos era menor e as leis/normas menos rigorosas (TUNZELMANN, 2003).

Com o aprimoramento da Primeira Revolução Industrial no final do século XIX, surgiu a Segunda Revolução Industrial. Essa revolução, em relação à tecnologia, é caracterizada pelo surgimento da eletricidade, a fabricação de equipamentos tecnológicos (torno, broca, fresadora), a invenção dos motores de combustão interna e a evolução nas áreas de petroquímica, petrolíferas, metalúrgicas e aço (TUNZELMANN, 2003); (TAMÁS; ILLÉS; DOBOS, 2016).

Com a utilização de máquinas nos processos produtivos, a regulamentação do transporte ferroviário e o acesso à informação através da comunicação, possibilitaram o início da produção em massa ou larga escala, desenvolvida por Henry Ford. A produção em massa é caracterizada pela fabricação de grandes quantidades do mesmo produto,

acarretando menor custo, padronização e aumento da carteira de clientes/pedidos (KANJI, 1990); (WOOD, 1992).

Segundo Rifkin (2012), a metade do século XX foi marcada pela falta de novas tecnologias, ausência de automação nos processos e a elevada emissão de CO<sub>2</sub> no meio ambiente, ocasionando o desemprego, o endividamento de pessoas e empresas e, o principal, a desaceleração da economia.

Conseqüentemente, para acabar com a decadência econômica que o mundo estava passando, surgiu a chamada Terceira Revolução Industrial, que levou para os meios produtivos a automação, a tecnologia de informação e comunicação (TIC) e as energias renováveis.

A automação é caracterizada pelas máquinas CNC (Controle Numérico Computadorizado) e pelos robôs. A Tecnologia de Informação e Comunicação veio com o início da microeletrônica (Integração dos Circuitos Eletrônicos), a informação e os sistemas integrados da telemática (Redes de Telecomunicações). Todos esses processos auxiliaram no desenvolvimento do computador, uma máquina inteligente que possui vários programas que auxiliam as empresas nos aspectos gerenciais (TUNZELMANN, 2003); (RIFKIN, 2012).

A Terceira Revolução Industrial também foi marcada pelas energias renováveis, que são energias naturais provenientes do sol, vento, chuva, hidrelétricas, calor geotérmico, biomassa, ondas e marés do oceano. Essas energias ajudam na redução da emissão de CO<sub>2</sub> no ambiente, diminuem o impacto ambiental, são inesgotáveis, além de outras características. As empresas que aderirem à energia verde auxiliam na diminuição do impacto ambiental, podem ter impostos reduzidos e ser uma forma de marketing (RIFKIN, 2012).

Em relação aos processos produtivos, a Terceira Revolução Industrial é marcada pelo Toyotismo, baseados nos princípios de melhoria contínua, respeito às pessoas, eliminação dos sete desperdícios, fabricação de lotes menores, redução de estoques e sistema *just in time* (estoque zeros e tudo no momento certo).

A biotecnologia também se faz presente nos processos industriais através do estudo da aplicabilidade dos organismos vivos em um produto ou serviço (WOOD, 1992).

O quadro 01 apresenta um breve resumo dessas revoluções industriais.

Quadro 1: Principais características das Revoluções Industriais

<b>Revoluções/ Características</b>	<b>1º Revolução Industrial</b>	<b>2º Revolução Industrial</b>	<b>3º Revolução Industrial</b>
<b>Datas aproximadas</b>	1750	1870	1973
<b>Localização</b>	Reino Unido	Estados Unidos e Alemanha	Estados Unidos
<b>Tecnologias</b>	Máquinas	Máquinas a vapor	Tecnologias da Informação e Comunicação
<b>Motivo</b>	Água, vapor	Eletricidade, óleo	Nuclear, renovável
<b>Material</b>	Ferro	Aço, plásticos	Silício
<b>Automatização</b>	Transformação	Transferência	Controle
<b>Comunicação</b>	Telégrafo	Telefone	Internet
<b>Meio de Transporte</b>	Ferrovárias	Automóveis	Aeronaves
<b>Tipo de processo</b>	Artesanal	Produção em Massa	Informação
<b>Vantagens</b>	Especializada	Integração Interna	Integração Externa
<b>Estrutura</b>	Competitiva	Capitalista	Capitalista Distribuído
<b>Tipo de Capitalismo</b>	Pessoal	Gerencial	Colaborativo

Fonte: Adaptado de Basseto (2019).

O quadro 01 apresenta um breve resumo das características das três revoluções industriais, sendo possível perceber que cada revolução representa um avanço da revolução anterior, motivado pelos avanços tecnológicos, a economia, o governo e a sociedade. Esses avanços continuaram com a internacionalização, com a maior exigência dos consumidores e a crescente competitividade das indústrias pelo mercado, ocasionando o surgimento da Quarta Revolução Industrial no ano de 2011, na Alemanha (PICCAROZZI; AQUILANI; GATTI, 2018).

## 2.2 QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

A Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0 é diferente das três revoluções anteriores devido ao fato de estar sendo pensada e projetada, fazendo com que as empresas consigam planejar suas estratégias para essa transformação industrial (ALMADA-LOBO, 2016).

Suas principais características são sistemas totalmente automatizados e integrados, permitindo uma produção mais flexível com produtos personalizados para

suprir as necessidades dos clientes. Além disso, a geração e coleta de inúmeros dados em tempo real refletem em uma tomada de decisão adequada e uma vantagem competitiva no mercado (MRUGALSKA; WYRWICKA, 2017); (ROBLEK; MEŠKO; KRAPEŽ, 2016).

A tendência da Indústria 4.0 é gerar o desenvolvimento de fábricas inteligentes e, para que isso aconteça, Suri *et al.* (2017) diz que a ligação de sistemas é a primeira etapa para as empresas alcançarem a Quarta Revolução Industrial.

Além disso, conforme destacado por Azevedo (2017) a Indústria 4.0 visa potencializar a cadeia de valor por meio dos desenvolvimentos tecnológicos, juntamente com a economia e a inovação.

Para isso, Pereira e Romero (2017) apontam que as mudanças necessárias para as empresas alcançarem o nível 4.0 resultam em desafios e impactos nas áreas organizacionais e gerenciais, sendo eles: indústria, produtos e serviços, modelos de negócio e mercado, economia, ambiente de trabalho e desenvolvimento de habilidades.

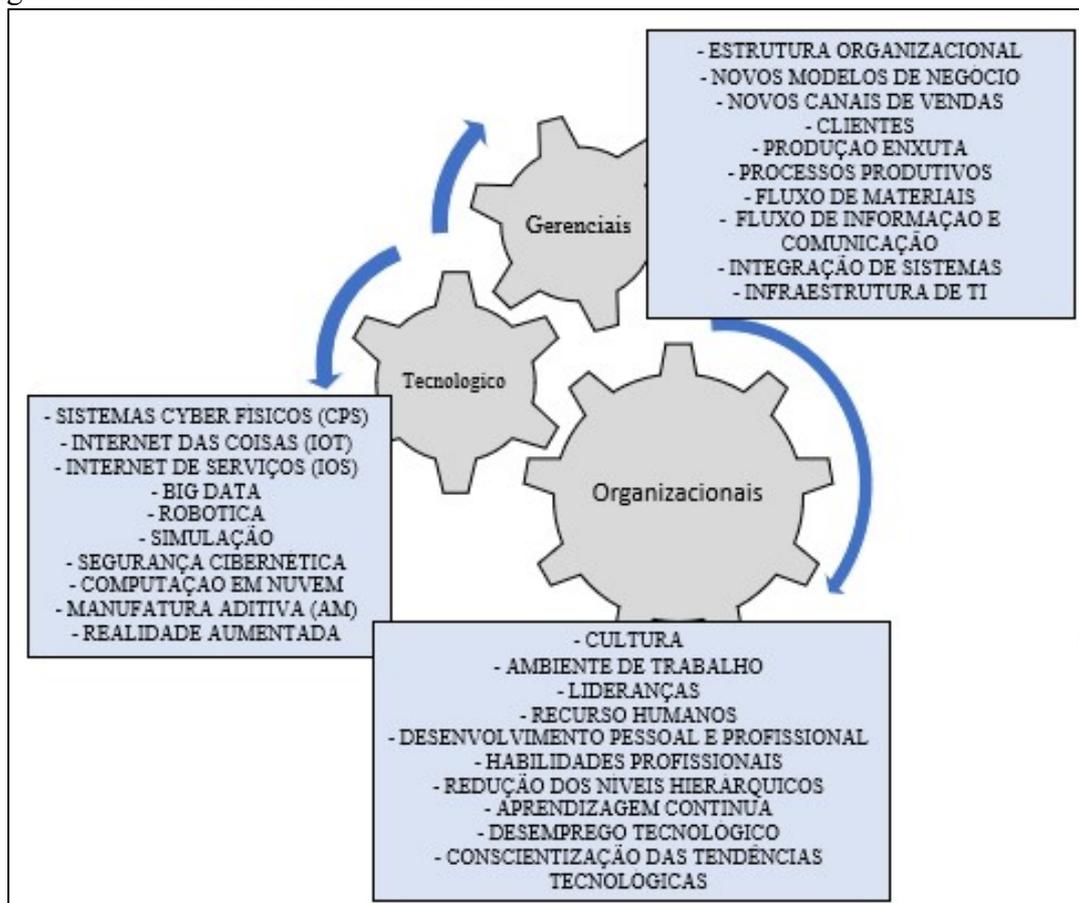
Agostini e Filippini (2019) também apontam que para as empresas atingirem o nível da Indústria 4.0 deve-se levar em consideração os aspectos organizacionais e gerenciais da empresa. Isso porque não seria prudente adquirir as tecnologias da Indústria 4.0 sem antes as empresas estarem adaptadas e familiarizadas para implementá-las.

Nesse ponto de vista, a adoção das práticas da Indústria 4.0 nos aspectos organizacionais, gerenciais e tecnológicos leva a ganhos mais significativos para a empresa do que de forma isolada.

Em síntese, a Quarta Revolução Industrial compreende a adoção de tecnologias e mudanças nas práticas organizacionais e gerenciais, impactando toda a cadeia de valor. De acordo com Agostini e Filippini (2019), as três dimensões das empresas ligadas à Indústria 4.0 são: organizacionais, gerenciais e tecnológicas.

A figura 01, abaixo, apresenta essas três dimensões (critérios) e suas práticas (alternativas), as quais conduzem a indústria a atingir o nível 4.0. Além disso, vale ressaltar que as práticas descritas adiante não são regras, pois cada empresa possui suas peculiaridades.

Figura 1: Síntese das Práticas da Indústria 4.0



Fonte: Adaptado de Pereira e Romero (2017); Agostini e Filippini (2019).

## 2.3 DIMENSÕES DA INDÚSTRIA 4.0

### 2.3.1 Organizacionais

As práticas que compõem a dimensão organizacional da Indústria 4.0 são interligadas, isto é, quando uma prática é implementada ou melhorada, diretamente está melhorando as demais, bem como alguma atividade pode refletir em diferentes práticas.

Por exemplo: a cultura organizacional reflete no desenvolvimento do setor de recursos humanos, que influencia no ambiente de trabalho que, por sua vez, reflete na aprendizagem contínua e no desenvolvimento de habilidades (PEREIRA; ROMERO, 2017); (AGOSTINI; FILIPPINI, 2019).

### 2.3.1.1 Cultura

A Indústria 4.0 proporcionou profundas mudanças nas empresas, uma vez que as práticas tecnológicas, organizacionais e gerenciais, influenciam diretamente na alteração de costumes pré-existentes na empresa. A implementação dessa prática consiste em mudanças na cultura das pessoas e da empresa, uma vez que qualquer mudança realizada dentro da empresa somente é possível se a cultura for propícia (SILVA, 2008); (MAZALI, 2018).

De acordo com Balasingham (2016), os costumes pré-existentes nas empresas fazem com que elas resistam à implementação das práticas da Indústria 4.0, por que essas práticas levam ao estado de incertezas. Mas, é importante ressaltar que em qualquer processo de mudança na empresa, todas as pessoas e os departamentos envolvidos, de forma direta ou indireta, devem estar apoiando, uma vez que a resistência à mudança ocorre de duas formas: relutância dos funcionários e falta de apoio dos gestores.

### 2.3.1.2 Ambiente de trabalho

A adoção das práticas da Indústria 4.0 pelas empresas demanda a mudança de hábitos gerenciais e organizacionais pré-existentes na empresa. Essas mudanças apresentam muitos desafios econômicos, sociais, tecnológicos, de recursos humanos, entre outros. É devido a isso que a empresa precisa proporcionar um ambiente que influencia no desenvolvimento e no aprendizado dos funcionários em relação às práticas da Indústria 4.0 (SHAMIM *et al.*, 2016).

Segundo Shamim *et al.* (2016), a gestão do ambiente de trabalho pode ocorrer de duas formas: mecanicista ou orgânica. A gestão mecanicista é apropriada para ambientes de trabalho onde ocorre uma produção em larga escala com gestão centralizada, comunicação vertical, sistema hierárquico, regras e metas definidas. A gestão orgânica vai de encontro à Indústria 4.0, pois corresponde a um ambiente flexível a mudanças, com poucas regras e formalidades, incentivo ao trabalho em equipe, descentralização, participação dos funcionários nas decisões e comunicação horizontal (BRUNS; STALKER, 1961).

### 2.3.1.3 Lideranças

A liderança é o ato de comandar, influenciar, inspirar, motivar e orientar os funcionários a caminhar no sentido dos objetivos da empresa. Existem inúmeros tipos de liderança, por exemplo: a Apple está na lista das principais empresas inovadoras do mundo e o seu sucesso não é apenas devido às habilidades técnicas, mas sim ao estilo de liderança de Steve Jobs, que exige e obtém os melhores resultados da sua equipe (SHAMIM *et al.*, 2016).

Ainda de acordo com Shamim *et al.* (2016), na Indústria 4.0 as empresas também precisam adotar estilos de lideranças que vão de encontro aos processos de inovação e aprendizado, visto que, um estilo de liderança adequado é fundamental nas mudanças internas e externas da empresa. Adiante são apresentados três estilos de liderança mais abordados no contexto da Indústria 4.0, que são:

- **Liderança transformacional:** São líderes que motivam e incentivam os funcionários em relação à inovação, à realização de atividades novas, o melhoramento do desempenho da empresa, entre outras atividades relacionadas. Os elementos nesse estilo de liderança são: influência idealizada (quando o líder se torna modelo para o funcionário), estimular o intelectual, estimular o espiritual e a consideração individual (mentoria, igualdade) (BIRASNAV, 2014).
- **Liderança autêntica:** São líderes que, além de abranger a liderança transformacional, proporcionam o desenvolvimento de um ambiente honesto, transparente, ético e moral. Os elementos desse estilo de liderança são: autoconsciência, visão ética e moral, transparência relacional (verdadeiro) e um tratamento equilibrado/justo (MÜCELDILI; TURAN; ERDIL, 2013).
- **Liderança transacional:** São líderes voltados para a elaboração de estratégias, aperfeiçoamento da hierarquia e remuneração através do desempenho por funcionário. Os elementos nesse estilo de liderança são: recompensa (pagamento para o funcionário através do desempenho da atividade concluída no tempo determinado), gestão ativa (quando o gerente supervisiona demasiadamente os funcionários, identificando erros e auxiliando na resolução) e gestão passiva (quando o gerente supervisiona o funcionário quando ocorrem erros) (BIRASNAV, 2014).

#### 2.3.1.4 Recursos Humanos

O setor de recursos humanos é considerado muito importante nas empresas, pois suas atividades bem executadas proporcionam vantagem competitiva para a mesma. Isso porque suas atividades estão diretamente ligadas ao comportamento dos funcionários e a estimular o capital humano (AGOSTINI; FILIPPINI, 2019). Segundo Shamim *et al.* (2016), no que se refere à Indústria 4.0, o setor de recursos humanos realiza as seguintes práticas:

- **Treinamentos:** Tem como finalidade o desenvolvimento de todos os funcionários por meio de capacitação, conhecimento sobre inovação, aperfeiçoamento de diferentes habilidades, realização de várias tarefas juntas, entre outros. Já em relação ao próprio setor de recursos humanos, esses treinamentos são voltados ao desenvolvimento e habilidade no trabalho em equipe, mentoria e aptidões de resolver problemas com funcionários.
- **Pessoal:** Essa prática consiste na seleção de candidatos para contratação na empresa. Deve-se levar em consideração, no momento da contratação, as habilidades e competências pessoais e profissionais do candidato em relação aos objetivos da empresa e os atributos necessários para o cargo. Outro fator importante no momento da seleção é a orientação do objetivo do candidato, podendo ser de aprendizagem ou desempenho. A orientação de aprendizagem é voltada às habilidades da Indústria 4.0, devido o candidato ter costume de estar aprendendo e melhorando diariamente.
- **Compensação:** É uma forma de remuneração para o funcionário por meio do desempenho individual, em grupo ou de toda a empresa. Pode ocorrer em forma de participação de lucros ou remuneração adicional.
- **Avaliação de desempenho:** Consiste em realizar frequentemente um feedback quantitativo e qualitativo ao funcionário sobre a sua performance na empresa, apresentando de forma objetiva como foi e como poderia ter sido o seu desempenho. A abordagem do gerenciamento por objetivo (MBO) é uma prática voltada à Indústria 4.0, que é utilizada pelos gestores e os seus funcionários para ambos determinarem juntos quais são os objetivos e os procedimentos que irão realizar.

- **Design do trabalho:** Corresponde às formas como as atividades são executadas, levando em consideração quais são os fatores e condições que influenciam na execução da atividade. Uma forma de mapeamento são as Instruções de Trabalho (IT).

#### 2.3.1.5 Desenvolvimento Pessoal e Profissional

De acordo com Pereira e Romero (2017), as pessoas são fatores fundamentais para o desempenho de uma empresa, principalmente quando ocorre uma interação positiva entre a empresa e o funcionário. Mas, com as tecnologias disruptivas que estão surgindo, o desenvolvimento pessoal e profissional é de extrema importância, pois os consumidores estão mudando a forma de aquisição dos produtos no mercado e, conseqüentemente, as empresas precisarão se adaptar a essas mudanças.

O desenvolvimento pessoal e profissional impacta diretamente no desempenho da empresa, pois a grande dificuldade que as mesmas encontram é referente às particularidades de cada funcionário, tais como sentidos, crenças, pensamentos, valores e atitudes individuais, podendo não ir de encontro ao objetivo da empresa. É nesse sentido que as empresas precisam desenvolver métodos para o desenvolvimento pessoal e profissional de cada funcionário (SILVA, 2008).

As empresas podem fornecer treinamentos, processos de mentoria/*coaching*, simulação de processo de digitação para auxiliar os funcionários nesse desenvolvimento (BALASINGHAM, 2016); (SILVA, 2008). As instituições de ensino também podem estar incluindo nas suas grades curriculares competências relacionadas à Indústria 4.0 (PEREIRA; ROMERO, 2017).

#### 2.3.1.6 Habilidades Profissionais

Com o advento da Indústria 4.0 as empresas precisaram adaptar os seus processos produtivos, refletindo diretamente no ambiente de trabalho. Isso leva as empresas a procurarem profissionais com habilidades voltadas à inovação, informação, tecnologia e comunicação, aprendizagem contínua e senso de cooperação (GRAGLIA, 2018); (AGOSTINI; FILIPPINI, 2019).

Conforme apresenta Balasingham (2016), a principal transformação que vai ocorrer nos processos produtivos é em relação às atividades manuais que poderão ser substituídas por atividades automatizadas e sistemas de informação. Logo, as empresas precisam informar com clareza como os funcionários devem procurar treinamentos que são voltados ao desenvolvimento de responsabilidades, interesses pessoais, entendimento sobre o controle de processos relacionados à digitalização, entre outros.

Segundo Fareri *et al.* (2020), as habilidades profissionais devem ir de encontro ao objetivo da empresa, caso contrário conduz as mesmas para um mau desempenho. Por isso, é necessário a empresa encontrar ferramentas e métodos para identificar quais habilidades que os funcionários atuais possuem e auxiliá-los no desenvolvimento de habilidades que a empresa deseja. Uma das técnicas utilizadas pelas empresas para compreender as habilidades dos funcionários são os *insights*, que consistem em auxiliar as lideranças e o setor de recursos humanos na compreensão súbita do que está ocorrendo.

### 2.3.1.7 Redução dos níveis hierárquicos

A redução dos níveis hierárquicos influencia na aprendizagem dos funcionários no que se refere a adaptação da adoção das tecnologias da Indústria 4.0, uma vez que as habilidades e atividades exercidas pelos funcionários, no contexto da Indústria 4.0, vão de encontro com maiores responsabilidades e capacidade de se relacionar com processos, pessoas, fluxos de informações, necessidades dos clientes e soluções de problemas (EROL *et al.*, 2016). O quadro 2, abaixo, apresenta as práticas da estrutura organizacional no contexto da Indústria 4.0:

Quadro 2: Práticas da Estrutura Organizacional

<b>Práticas</b>	<b>Descrição</b>
<b>Estrutura Matricial</b>	Corresponde à descentralização e à flexibilidade da hierarquia da empresa na realização de projetos. Por exemplo: o trabalhador A do setor comercial está participando de um projeto de qualidade, o mesmo terá o seu gerente do comercial e o gerente que conduz o projeto.
<b>Equipes de projeto</b>	Uma equipe de projeto consiste na divisão de atividades e funções, melhorando o aprendizado, o conhecimento e as habilidades dos funcionários.

<b>Hierarquia Plana</b>	Também conhecida como organização horizontal, é uma estrutura organizacional com redução dos níveis hierárquicos e controle amplo. Esse tipo de hierarquia leva a uma aproximação dos gerentes com os funcionários, conseqüentemente, os funcionários começam a participar de decisões, aumentando o aprendizado e feedbacks dos mesmos.
<b>Descentralização</b>	A descentralização das tomadas de decisões nas empresas fornece maior responsabilidade para níveis mais baixos na empresa, isto induz à agilidade nas tomadas de decisões, responsabilidade e comprometimento dos funcionários com a empresa e proporciona um ambiente de aprendizagem.

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

### 2.3.1.8 Aprendizagem Contínua

Podemos supor que as empresas e as pessoas estão em um processo de aprendizagem contínuo, uma vez que a sociedade sofre constantes mudanças em um ritmo acelerado. De acordo com Silva (2008), a aprendizagem para as pessoas e as empresas ocorre de diferentes formas e aspectos. No que se refere às empresas, o processo de aprendizagem ocorre através da interação e da forma que se relaciona com o ambiente, porém cada setor/departamento aprende de determinada forma. Já para as pessoas o processo ocorre pelas experiências vivenciadas.

Segundo Pereira e Romero (2017), o processo de aprendizagem também se refere à inserção das novas áreas de competências em relação à Indústria 4.0 nas instituições de ensino, visto que atividades práticas extracurriculares são importantes para o desenvolvimento de habilidades das pessoas. Shamim *et al.* (2016) também apresenta algumas práticas no item 2.3.1.6, que auxiliam no processo de aprendizagem contínuo no contexto da Indústria 4.0.

### 2.3.1.9 Desemprego tecnológico

De acordo com Pereira e Romero (2017), as tecnologias estão muito presentes no cotidiano da sociedade, conduzindo o surgimento de novos modelos de negócios e novos canais de vendas. Logo, os empregos atuais e futuros também serão reformulados para esses novos modelos de negócios. Um desafio apresentado para as empresas é auxiliar e incentivar os funcionários a adaptar-se às novas exigências do mercado para, assim, poderem se realocar nas mudanças da empresa.

De acordo com Roblek, Meško, e Krapež (2016), alguns empregos irão desaparecer e outros serão remodelados. Algumas empresas já estão realizando essa remodelação nos cargos e funções pré-existentes, porém os funcionários também precisam se desenvolver da mesma forma para continuarem ou assumirem esses postos, seja através de treinamentos, cursos, monitoria, entre outros.

#### 2.3.1.10 Conscientização das tendências tecnológicas

De acordo com Kagermann, Wahlster e Helbig (2013), a implementação das práticas da Indústria 4.0 é um processo longo e exige muitas transformações na empresa.

Segundo Agostini e Filippini (2019), a implementação das tecnologias na empresa deve ocorrer juntamente com as mudanças das práticas organizacionais e gerenciais e, desta forma, a empresa obtém resultados significativos.

O processo de implementação das práticas da Indústria 4.0 deve ocorrer de forma gradativa por meio de estratégias de conscientização das tendências tecnológicas para os funcionários e a sociedade em geral. Uma maneira de elaborar essas estratégias, primeiramente, é identificando a metodologia e as abordagens da Indústria 4.0 pertinentes à sua empresa.

Em seguida, ir implementando-as de forma gradativa, levando em consideração as funções e o perfil de cada funcionário (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

#### 2.3.2 Gerencial

Segundo Agostini; Filippini (2019), as práticas que compreendem essa dimensão da Indústria 4.0 são: fluxo de materiais, fluxo de informações e conhecimento, a infraestrutura da TIC, o processo produtivo e as práticas da produção enxuta.

Pereira e Romero (2017) complementam essa dimensão com mais cinco práticas, sendo: novos modelos de negócio, novos canais de vendas, clientes, integração de sistemas e estrutura organizacional.

### 2.3.2.1 Estrutura Organizacional

Segundo Pereira e Romero (2017), a Quarta Revolução Industrial vem trazendo inúmeras práticas organizacionais, gerenciais e tecnologias, transformando os modelos de negócios existentes e alterando o mercado.

Conseqüentemente, faz-se necessário às empresas aperfeiçoarem seus processos para manterem-se competitivas no mercado, atendendo e satisfazendo os clientes, os quais estão procurando produtos personalizados, com ciclo de vida mais curto, qualidade superior e redução de preço (TAMÁS; ILLÉS; DOBOS, 2016).

De acordo com Porter e Heppelmann (2015), essas transformações no mercado são oriundas das mudanças sociais, econômicas e políticas que vêm ocorrendo há décadas. Isso acaba levando a parte estratégica da empresa a algumas escolhas decisivas, influenciando no futuro da empresa. Erol, Schumacher e Sihm (2016) complementam que o planejamento estratégico é de extrema importância para as empresas atingirem o nível 4.0, que ocorre por meio de três estágios, os quais estão apresentados no quadro 3, abaixo:

Quadro 3: Estágios do planejamento estratégico

Estágio 01	Compreensão geral dos conceitos da Indústria 4.0 e identificar quais conceitos vêm de encontro aos princípios da empresa, levando em consideração os clientes, os fornecedores, a cultura organizacional, a gerencia, os parceiros em geral.
Estágio 02	Com o auxílio da técnica <i>roadmapping</i> a empresa elenca e mapeia as suas perspectivas estratégicas, permitindo assim, uma visão do caminho à Indústria 4.0.
Estágio 03	Consiste na transição do planejamento estratégico em projetos concretos com metas pré-estabelecidas, equipes de trabalho, definição dos responsáveis, roteiros, entre outros. Cada projeto é analisado e priorizado conforme as necessidades e condições pré-existentes da empresa, incluindo os projetos em andamento.

Fonte: Adaptado de Erol, Schumacher e Sihm (2016).

### 2.3.2.2 Novos modelos de negócios

Segundo Pereira e Romero (2017), os modelos de negócio e mercado, juntamente com a presença das tecnologias disruptivas da Indústria 4.0, provocaram uma ruptura com os padrões, modelos ou tecnologias já estabelecidas no mercado,

ocasionando dificuldades para os negócios tradicionais e novas oportunidades para novos modelos de negócios e geração de empregos.

De acordo com Schmidt *et al.* (2015), são inúmeros os modelos de negócio que estão surgindo com a Indústria 4.0, promovendo uma incerteza das empresas em aderirem a esses modelos, uma vez que isso gera mudanças internas e externas na mesma. Outro fator que as empresas levam em consideração está voltado à seguinte dúvida: qual é o momento adequado para implementar um novo modelo de negócio?

Chiappetta Jabbour *et al.* (2020) apresenta dois novos modelos de negócio que surgiram com a Indústria 4.0: a economia circular (CE) e a economia compartilhada (SE). A economia circular (CE) é voltada à reutilização e reaproveitamento de produtos após o seu descarte, realizando novamente todo o ciclo de vida do novo produto (ABDALLA; SAMPAIO, 2018). Já a economia compartilhada (SE) consiste em uma plataforma digital (aplicativos e websites) de compartilhamento de recursos físicos e humanos, sem transição financeira (MELLO, 2018).

Segundo Abdalla e Sampaio (2018), ambos os modelos de negócio têm como principal finalidade promover as práticas voltadas à sustentabilidade, o compartilhamento de bens e serviços e o aprimoramento da igualdade social. Um exemplo desse novo modelo de negócio são os *Airbnb*, visto que as pessoas compartilham as acomodações, reduzindo assim o consumo de energia e outros recursos consumidos e, conseqüentemente, estão economizando dinheiro e sendo sustentáveis.

Outros exemplos são o site de OLX, que permite a troca, doação ou compartilhamento de objetos, e as logísticas compartilhadas, sendo: *peer-to-peer logistics* (as pessoas interessadas organizam a logística necessária para as trocas), *business logistics* (a plataforma organiza e realiza a logística entre as partes), *crowd-party logistics* (a multidão oferece serviços logísticos), *crowd-driven logistics* (a multidão lida com o planejamento e gerenciamento de logística) (CARBONE; ROUQUET; ROUSSAT, 2016).

### 2.3.2.3 Novos canais de vendas

Segundo Chaparro-Peláez *et al.* (2020) a era da digitalização influenciou as empresas a criarem novos canais de vendas através de plataformas digitais, como: *web*, aplicativos móveis, redes sociais, etc. Conseqüentemente, esse estilo de vendas

proporciona uma aproximação entre cliente e empresa, ocasionando benefícios para ambos. O setor mais beneficiado com esse estilo de vendas é o varejo, pois a sua venda é direta ao consumidor final.

Além disso, as empresas estão aderindo a um novo estilo de vendas, chamado de servitização, isto é, ao invés de vender o produto passa a vender os sistemas de serviços de produtos. Um exemplo de servitização é a empresa *Rolls-Royce*, que vende a energia por hora. Outro exemplo é a empresa *Brastemp*, que passa a vender um serviço de mensalidade de água purificada ao invés do purificador, entre outros tantos exemplos. Esse tipo de venda pode ser classificada em três tipos: serviços de base (peças), serviços intermediários (assistência técnica) e serviços avançados (venda de solução) (HUXTABLE; SCHAEFER, 2016).

#### 2.3.2.4 Clientes

Em qualquer época e negócio os clientes sempre foram um elemento chave de sucesso para a empresa. Porém, com o advento da Quarta Revolução Industrial, os clientes estão cada vez mais exigentes em relação à aquisição de bens e produtos no mercado. Essas exigências dizem respeito à fabricação de produtos conforme a sua necessidade ou personalizados, entrega em prazo mínimo e custos baixos. Além disso, o modo de venda alterou devido à integração entre cliente e fornecedor, por meio dos sistemas cyber-físicos (CPS) (PEREIRA; ROMERO, 2017).

Qin *et al.* (2016) reforça que a Indústria 4.0 trouxe mudanças na relação entre empresas e clientes através da conectividade e integração entre eles, permitindo assim, uma troca de informação em tempo real. Algumas dessas mudanças são relacionadas ao método de compra do cliente, proporcionando que o cliente solicite o seu pedido sem restrições de quantidade, podendo alterar o seu pedido durante o processo de fabricação, sem alteração de custo. Além disso, o cliente poderá conhecer o produto, bem como a sua utilização.

#### 2.3.4.5 Produção Enxuta

Segundo Agostini e Filippini (2019), as práticas da produção enxuta podem ser consideradas como pré-requisitos para a implementação das tecnologias da Indústria

4.0, uma vez que ambas praticam a fabricação enxuta, a automação e a satisfação do cliente. A produção enxuta também é chamada de *Lean Manufacturing* e surgiu com o Sistema Toyota de Produção (STP), desenvolvido por Taichii Ohno na Toyota Motor Company. Muitas empresas no mundo implementaram as práticas da produção enxuta, inclusive as pequenas e médias empresas (PME) (SANDERS; ELANGESWARAN; WULFSBERG, 2016).

As práticas da produção enxuta são: *feedback* do fornecedor, entrega *just-in-time* (JIT) pelos fornecedores, desenvolvimento de fornecedores, envolvimento do cliente, produção puxada, redução do tempo de instalação, manutenção produtiva/preventiva total, controle estatístico do processo e envolvimento dos funcionários. Todas essas práticas auxiliam as empresas a implementar as tecnologias da Indústria 4.0 (SANDERS; ELANGESWARAN; WULFSBERG, 2016).

Contudo, segundo Hofmann e Rüsche (2017), algumas empresas apresentam dificuldades na implementação ou melhoria das práticas da produção enxuta. Sendo assim, algumas tecnologias da Indústria 4.0 podem auxiliar nessa implementação por meio de sistemas de tecnologia de informação e comunicação, integração da cadeia de valor, dados em tempo reais, entre outros.

#### 2.3.2.6 Processos Produtivos

De acordo com Pereira e Romero (2017), a aquisição de produtos no mercado pelos consumidores vem alterando gradativamente e isso está fazendo com que as indústrias alterem seus processos produtivos, passando a fabricar os produtos conforme a necessidade do cliente, gerando, conseqüentemente, uma complexidade e alteração na cadeia produtiva da empresa.

Uma das mudanças que ocorre no processo produtivo corresponde à redução da produção em massa pelo aumento da produção personalizada e, conseqüentemente, o processo precisa tornar-se mais ágil e flexível para, assim, os custos operacionais e do produto serem baixos, com qualidade alta e clientes satisfeitos. Para que isso aconteça é necessário as empresas estarem numa melhoria contínua e os funcionários preparados para essas mudanças (MARQUES *et al.*, 2017).

Além disso, Zuehlke (2010) nos fala que o sucesso das empresas na Quarta Revolução Industrial consiste em adequações de projetos, instalações, operações,

sistemas de controle, implementação de práticas tecnológicas, entre outros. As práticas da produção enxuta podem facilitar essas mudanças na empresa. Uma dessas práticas é o *just-in-time* (JIT), em que toda a empresa trabalha somente sob demanda ou o mínimo de estoque necessário e, a outra, é o *just-in-sequence* (JIS), que consiste na sequência correta do processo produtivo. Ambas as práticas são voltadas para a transparência de informações, precisão do planejamento, eficiência na execução, estrutura descentralizada em sistemas complexos (HOFMANN; RÜSCH, 2017).

Além disso, o conjunto de práticas tecnológicas, organizacionais e gerenciais da Indústria 4.0, também auxilia as empresas nas mudanças nos processos produtivos. Não é necessário que as empresas implementem todas as práticas, elas podem ir fazendo esse processo de forma gradativa, conforme suas condições atuais. Porém, o fator primordial para qualquer mudança demanda a aceitação e a prática por parte do funcionário (CACHAY; ABELE, 2012).

#### 2.3.2.7 Fluxo de Materiais

Segundo Agostini e Filippini (2019), a cadeia de suprimentos, juntamente com o sistema de produção enxuta, potencializa o fluxo de materiais por meio do *just-in-time* (JIT), visto que o fluxo de materiais tem como principal finalidade desenvolver uma relação entre fornecedor-comprador por meio da compra ou venda do produto sob demanda, proporcionando agilidade e flexibilidade na empresa.

De acordo com Hofmann e Rüsç (2017), JIT é um sistema de produção que tem como objetivo somente comprar e produzir a quantidade necessária ou sob demanda, possibilitando estoques mínimos ou zeros. Esse sistema de produção, juntamente com o fluxo de materiais, através da cadeia de suprimentos e a digitalização, apresentam muitas vantagens para a empresa, pois possibilitam a armazenagem, coleta e análise dos dados, gerando informações que auxiliam nas decisões a serem tomadas. Esses dados podem ser analisados pela empresa, interna ou externamente, e são apresentados de diferentes formas, como: histórico de compras, histórico de fornecedores, consulta de preços, prazos de entrega, problemas ocorridos, entre outros (SCHNIEDERJANS; CURADO; KHALAJHEDAYATI, 2020).

Contudo, a prática do sistema JIT no fluxo de materiais apresenta alguns desafios às empresas, como: planejamento de produção não condizente com a realidade,

aquisição de matéria-prima inadequada, estoques incorretos, falta de matéria-prima no processo produtivo, entre outros fatores. Conseqüentemente, esses desafios podem resultar em problemas à empresa, como: atrasos de pedidos, vendas de produtos que não existem fisicamente no estoque, falta de confiabilidade nas informações, entre outros (SCHNIEDERJANS; CURADO; KHALAJHEDAYATI, 2020).

#### 2.3.4.8 Fluxo de Informação e Conhecimento

A cadeia de suprimentos também compreende o fluxo de informações e conhecimento por meio de sistemas, permitindo, assim, troca de informações em tempo real. Essa troca de informação pode ocorrer de forma interna na empresa, com gestores e funcionários de todos os setores, como também pode ocorrer externamente, como: clientes, fornecedores, bancos, entre outros. Conseqüentemente, essa troca de informação em tempo real possibilita uma agilidade nas resoluções de problemas e tomadas de decisões (AGOSTINI; FILIPPINI, 2019).

Com fluxo de informação e conhecimento por meio de sistemas de informação, compreendem toda a cadeia de valor da empresa, isto é, toda a empresa conectada através da tecnologia. Isso possibilita vantagens competitivas e simplifica o caminho da empresa à Indústria 4.0, uma vez que o fluxo de informação e comunicação auxilia no desenvolvimento de fábricas inteligentes, pois permite a troca de informação independente (PEREIRA; ROMERO, 2017); (SCHUH *et al.*, 2014).

#### 2.3.4.9 Integração dos sistemas

A Indústria 4.0 tem como seu alicerce a integração dos sistemas em toda a cadeia produtiva, isso ocorre através da integração vertical e horizontal (AGOSTINI; FILIPPINI, 2019). A integração vertical consiste nas atividades que são realizadas no interior da empresa, como: fator humano, processos, desenvolvimento de produtos e atividades, sistemas tecnológicos, entre outros. Já a integração horizontal é representada pelas relações externas, que são: fornecedores, economia, mercado, clientes, entre outros (PÉREZ-LARA *et al.*, 2018).

A integração da cadeia produtiva através de sistemas é impulsionada pelos Sistemas Cyber-Físicos (CPS), que tem o intuito de realizar a ligação do mundo virtual

com o real (JIANG, 2017). A unificação deles através das tecnologias da Indústria 4.0 resulta em melhores desempenhos empresariais, aumento de produtividade, competitividade e permanência no mercado, além de facilitar o acesso à informação e a tomada de decisão da empresa. Por exemplo: comprar insumos antes do aumento do dólar, o qual está sendo previsto pelos economistas (JIANG, 2017).

### 2.3.2.10 Infraestrutura de TIC

Segundo Wang; Törngren; Onori (2015), os sistemas que envolvem a tecnologia de informação e comunicação (TIC) estão presentes há algum tempo no cotidiano das empresas, como: recursos limitados e dedicados a sistemas de computadores, aplicativo com domínio único, conexão somente por computadores, processos semiautomatizados necessitando do auxílio humano, entre outros. Porém, com a Indústria 4.0 a TIC tornou-se fundamental para a implementação das práticas da Indústria 4.0 nas empresas, devido à essência da Indústria 4.0 ser voltada à conectividade e integração de toda a cadeia de valor (AGOSTINI; FILIPPINI, 2019).

No entanto, a infraestrutura da TIC é considerada um dos principais desafios para as empresas atingirem as práticas da Indústria 4.0 (EROL; SCHUMACHER; SIHN, 2016), visto que as empresas com perfil conservador e que possuem margens pequenas, acabam não permitindo a implementação de novas técnicas e sistemas, devido à incerteza do resultado que irão obter. Nesse sentido, a empresa, juntamente com o conhecimento da tecnologia *cyber* física (CPS), devem encontrar mecanismos para avançar em tecnologias tradicionais sem muito investimento (WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015).

Algumas práticas da infraestrutura da TIC nas empresas são: armazenamento em nuvem, internet das coisas (IoT), *big data*, *gateway* (auxilia na comunicação entre duas redes ou sistemas, realizando assim uma ligação entre o ambiente externo com o ambiente interno da empresa), comunicação entre dispositivos por meio de BLE ou Wi-Fi, sistema de *WiseShopFloor*, que monitora os dispositivos no chão de fábrica por meio da tecnologia Java ou câmaras (WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015).

Além disso, Erol, Schumacher e Sihn (2016) complementam que profissionais qualificados e alterações na estrutura organizacional e nos processos devem ser levadas em consideração no melhoramento da infraestrutura da TIC.

### 2.3.3 Tecnológicas

As práticas das duas dimensões apresentadas anteriormente são oriundas das tecnologias da Indústria 4.0, as quais estão transformando e criando valor em toda a cadeia de produtos. As indústrias terão que realizar sua produção de forma descentralizada e digitalizada, propor a integração total de produtos e processos e produzir de forma personalizada, flexível e com alto nível de complexidade (AGOSTINI; FILIPPINI, 2019); (PEREIRA; ROMERO, 2017). As tecnologias da Indústria 4.0 são apresentadas adiante.

#### 2.3.3.1 Sistemas *Cyber* Físicos (CPS)

O Sistema Ciber Físico (CPS) é o principal conceito da Quarta Revolução Industrial e surgiu em 2006 na oficina *National Science Foundation* (NSF), em Austin no Texas, Estados Unidos. Tem como objetivo interligar os espaços físicos (sistemas naturais e feitos pelo homem) com os *cyber* espaços, que são os sistemas de computação, comunicação e controle. É fundamental para a construção de fábricas inteligentes e aplicações em cuidados de saúde, *smart grid*, transporte inteligente, *smart home*, *smart buildings* e cidades inteligentes (JIANG, 2017).

O CPS tem três tipos de arquitetura, que são: arquitetura ISA-95, arquitetura CPS 5C e a arquitetura CPS8C. A arquitetura ISA-95 possui cinco níveis, indo de 0 a 4 e tem como objetivo principal o controle das empresas e a integração de sistemas. A figura 02 apresenta os cinco níveis:

Figura 2: Arquitetura ISA-95

**Nível 04:** Consiste no planejamento do empreendimento, englobando todos os setores da empresa.

**Nível 03:** Trata do fluxo de trabalho e das tarefas realizadas na produção de pedidos.

**Nível 02:** Preocupa-se com o monitoramento, supervisão e controle automatizado do processo produtivo.

**Nível 01:** Manipula o processo de produção através de sensores e atuadores.

**Nível 0:** Representa a produção física do processo.

Fonte: Adaptado de Jiang (2017).

Na figura 02, foi apresentada a arquitetura ISA-95, que também é conhecida como IEC/ISSO Padrão 62264. Já a arquitetura CPS 5C consiste em cinco níveis, conforme apresentado abaixo, na figura 03.

Figura 3: Arquitetura CPS5C



Fonte: Adaptado de Lee, Bagheri e Kao (2015).

De acordo com Lee, Bagheri e Kao (2015), o nível 01 da arquitetura CPS 05 compreende a conexão inteligente entre máquinas e seus componentes para a obtenção de dados confiáveis. Esses dados podem ser coletados através de sensores, imagens, vídeos, produtividade, entre outros. O segundo nível consiste em coletar os dados do primeiro nível e realizar a conversão dos mesmos de acordo com as informações que a empresa deseja.

Já o terceiro nível cibernético é praticamente uma central de dados, onde é possível obter dados individuais de cada máquina para analisar o desempenho da mesma. O quarto nível de conhecimento é responsável pelas decisões da empresa através das informações obtidas nos níveis anteriores. O último nível de configuração analisa todos os níveis anteriores, apresentando o *feedback* e as novas configurações das máquinas para atingir os melhores resultados para a empresa.

Em conformidade com Jiang (2017), a arquitetura CPS 8C é constituída pela arquitetura CPS 05, apresentada acima, e as facetas 3C, que são a aliança cliente *versus* conteúdo. A aliança é uma ligação entre a cadeia de valor e a cadeia de produção com o objetivo de a produção auto programar-se conforme a necessidade do cliente, tornando-se assim, uma produção mais flexível e oportuna. A faceta cliente contém todos os aspectos que um cliente possui em uma empresa, desde a realização de um pedido, a

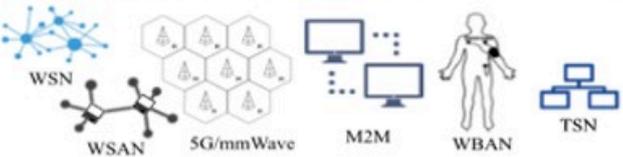
entrega e a pós-venda. E, por fim, o conteúdo corresponde à rastreabilidade do produto, incluindo todos os processos, informações e serviços do produto.

### 2.3.3.2 Internet das Coisas (IoT)

Conforme Xu *et al.* (2018) a Internet das coisas também é conhecida como IoT e é definida como sendo um sistema que conecta, interliga, reúne e transmite os dados gerados através de objetos físicos. De acordo com Kubler *et al.* (2016), em 2013 a IoT possuía 9,1 bilhões de dispositivos conectados, valor que em 2020 deve passar para 28,1 bilhões. Esse aumento de 68% pode acarretar grandes quantidades de dados armazenados, processados e acessados. Já Qin *et al.* (2016) ressalta que em 2020 serão 40 bilhões de coisas conectadas à internet.

Além dos dados apresentados acima, Atzori, Iera e Morabito (2016) comentam que na literatura a Internet das Coisas (IoT) é um tema muito pesquisado nas áreas de engenharia de produção e tecnologia de informação e comunicação (TIC). Com base nesses dados é possível informar que é uma área muito importante para a transição das empresas à Indústria 4.0. Xu *et al.* (2018) apresenta, na figura 04, a visão industrial da IoT, sendo composta de três camadas: camada de aplicação, camada de comunicação e camada física.

Figura 4: IoT do ponto de vista industrial

	Fábrica Inteligente	Planta Inteligente	Cadeia de suprimento inteligente
Camada de aplicação	 Robôs Linha de Montagem	 Fábrica de Gás Usina Elétrica	 Cadeia de mantimentos
Camada de comunicação			
Camada física			

Fonte: Adaptado de Xu *et al.* (2018).

A camada de aplicação engloba tudo o que está relacionado às fábricas e planos inteligentes, como cadeias de suprimentos, robótica e aplicativos industriais. A camada de comunicação é uma ligação de inúmeras redes de comunicação através de sensores, fios, contato e atuadores, como máquina a máquina (M2M), WSANs, WBAN, TSN, entre outros. E, por fim, a camada física é representada pela instalação de equipamentos dentro da empresa, como: computadores, sensores, atuadores, terminais inteligentes, automação, entre outros (XU *et al.*, 2018).

### 2.3.3.3 Internet de Serviços (IoS)

A Internet de Serviços (IoS) é um termo novo que está transformando os modelos de negócios existentes por meio da inserção da comercialização de serviços. Isso proporciona muitas oportunidades às empresas, como: criação de valor ao negócio por meio da inclusão de serviços ao produto e favorece o vínculo entre os clientes e fornecedores, resultando na eficiência da agilidade e na praticidade no negócio, entre outras (PEREIRA; ROMERO, 2017).

De acordo com Cardoso, Voigt e Winkler (2009), a IoS tem como finalidade fornecer serviços aos produtos e uma relação entre provedor e consumidor final. Além disso, na oferta de serviço precisa ser levado em consideração o custo, a funcionalidade e a qualidade dos serviços prestados. Ela também pode ser dividida em três tipos de serviços:

- Serviço comercial: É um serviço ou atividade intangível, disponibilizado ao cliente através de provedor de serviço. Por exemplo: a empresa que produzir a televisão inclui outros serviços juntos, como: *Netflix, Youtube, etc.*
- E-Serviço: Também conhecido como e-commerce ou comércio eletrônico, tem como principal finalidade realizar transações financeiras, vendas e compras por meio de dispositivos e plataformas eletrônicas.
- Serviço de internet: Regulamentos ou programas amparados pela Web, como serviço da Web RPC, serviço da Web SOA (comunicação, orientados a mensagem) e serviço da Web RESTful (consiste em realizar uma pesquisa em uma página da web).

### 2.3.3.4 Big Data

O *Big Data* é uma tecnologia primordial da Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0, uma vez que são gerados inúmeros dados pelos sistemas, máquinas, sensores, dispositivos tecnológicos, sistemas de manufatura, entre outros. Com essa quantidade de dados gerados é necessário um sistema de coleta, processamento, análise e armazenamento, ou seja, todo o ciclo de vida desses dados. Esse sistema é conhecido como Big Data (GÖLZER; FRITZSCHE, 2017).

Segundo Fan, Li e Zhou (2019), o *Big Data* possui as seguintes características:

- Volume: ampla quantidade de dados;
- Velocidade: análise e processamento ágil de dados;
- Variedade: padrões de dados diversos;
- Valor: escassez de valor;
- Veracidade: os dados refletem fatos verdadeiros;
- Variabilidade: big data tem estrutura de várias camadas.

Além disso, Fan, Li e Zhou (2019) apresentam o processo de *Big Data* no quadro 04, abaixo:

Quadro 4: Processo do Big Data

<b>Etapa</b>	<b>Descrição</b>	<b>Características</b>
1.	Coleta	Os dados estão dispersos em diversos lugares com quantidades e características diferentes. Eles podem ser classificados de três formas: dados estruturados, semiestruturados e não estruturados.
2.	Armazenamento	O armazenamento acontece no banco de dados. Quando esse banco excede o limite é possível adquirir mais espaços, se necessário. Um exemplo de armazenamento é a tecnologia em nuvem, que também faz parte da Indústria 4.0.
3.	Análise	Consiste em análises estatísticas.
4.	Visualização	Os dados podem ser visualizados através de monitores, telas, imagens, tabelas, entre outras formas.

Fonte: Adaptado de Fan, Li e Zhou (2019).

Segundo Villars e Olofson (2014), se as empresas souberem utilizar de forma coerente e correta os dados coletados, poderão obter uma grande vantagem competitiva no mercado, pois as decisões serão tomadas de forma mais exata e racional. Outra

vantagem é que com a análise dos dados as empresas podem criar valor sobre os produtos, onde antes não tinham esse conhecimento. Além das empresas, o fenômeno *Big Data* influencia diretamente a vida das pessoas, no trabalho e na sociedade como um todo.

#### 2.3.3.5 Robótica

Os consumidores estão cada vez mais exigentes na aquisição de um produto, querendo sempre algo inovador e baixo custo, entre outras exigências. Isso acaba influenciando indiretamente os meios produtivos das empresas, fazendo com que as mesmas comecem a buscar alternativas para auxiliar na fabricação dos produtos devido à alta flexibilidade e variedade que os clientes exigem (DANIELSSON *et al.*, 2017).

Conforme Landscheidt e Kans (2016), uma das alternativas para auxiliar na fabricação dos produtos é a automação da produção através de robôs industriais, também chamados de robóticas. Esse é um dos caminhos que as empresas estão percorrendo para manterem-se competitivas no mercado e atender às necessidades dos clientes de forma mais rápida e com qualidade. Alguns dos fatores que levam as empresas a adquirir robôs industriais são: o aumento da produtividade, a padronização, a flexibilidade de produção, a diminuição de custo com funcionários e o preço de aquisição razoavelmente baixo, comparando com demais problemas que surgem sem o robô.

Segundo Aceto, Persico e Pescapé (2019), os robôs são administrados por sistemas que possuem as seguintes funções: agir sobre estímulos ambientais, em conexão com sensoriamento, raciocínio lógico, entre outros. Os robôs industriais também podem ser chamados de robôs colaborativos quando ocorre uma interação com o ser humano, isto é, quando o homem e a máquina realizam juntos uma atividade. Além disso, a robótica também pode ocorrer em desenvolvimento de fabricação aditiva.

Porém, Danielsson *et al.*, (2017) ressalta que a maioria dos robôs industriais ou equipamentos tecnológicos possuem custos elevados, mas algumas empresas, mesmo assim, os adquirem pensando que é um investimento adequado à produção. Porém, muitas vezes, o preço de aquisição não é o valor correto devido ao fato de alguns robôs industriais possuírem outros custos que não são contabilizados no momento da compra.

Esses custos, que não estão presentes na compra, são chamados de custo total de propriedade (TCO), que são: ciclo de vida do equipamento, custo de operação, consumo de energia, acessórios, manutenção, suporte, funcionário, depreciação, entre outros. O custo TCO do equipamento pode tornar o produto duzentas vezes mais caro que o preço inicial de compra. Além disso, o retorno do investimento é demorado, ou seja, leva-se um bom tempo para o equipamento pagar-se (ELLRAM; SIFERD, 1993).

#### 2.3.3.6 Simulação

A simulação é uma técnica utilizada por diretores, gerentes, supervisores e demais cargos para encontrar uma melhor solução para determinadas questões dentro da indústria. Ela abrange todos os departamentos e níveis empresariais, com a finalidade de auxiliar na melhoria dos processos, produtos e tomadas de decisões (POLENGHI; FUMAGALLI; RODA, 2018).

De acordo com Polenghi, Fumagalli e Roda (2018), com a era da Indústria 4.0 a digitalização é considerada importante para as empresas, principalmente para a melhoria de *Beginning-of-Life* (BOL) e *Middle-Of-Life* (MOL). O *Beginning-of-Life* (BOL) oferece a vantagem de uma empresa simular o desenvolvimento do próprio sistema antes de ser adquirido, proporcionando, assim, vantagens competitivas, uma vez que a empresa poderá ter o conhecimento de como a interface e o sistema em si irá funcionar, bem como se atende ou não à demanda da mesma.

Já a *Middle-Of-Life* (MOL) caracteriza-se pela simulação relacionada aos campos produtivos de uma empresa, sendo eles: planejamento da produção, área de manutenção, expedição, entre outros. Em 2013 a simulação de MOL aumentou 28% em relação a 2002. Já a BOL, em 2013, diminuiu 28% em relação a 2002. É notável que é muito mais utilizada a simulação na área MOL do que na área BOL.

#### 2.3.3.7 Segurança Cibernética

Segundo Wang, Anokhin e Anderl (2017), a tecnologia de segurança cibernética é uma prática de proteção para os sistemas da Indústria 4.0. Caso não haja uma proteção adequada, os sistemas tornam-se vulneráveis a alguns riscos, como: ataque de *harckers*, roubo, manipulação de dados, entre outros. Logo, esses riscos são

considerados um desafio para a Indústria 4.0, pois demandam de ferramentas de proteção.

Esses riscos fizeram com o que o setor de TI (Tecnologia de Informação) tradicional mudasse drasticamente devido a tantos dados disponíveis em diversos campos e formas, sejam eles através de interconexão de sistemas, acesso à internet, surgimento de novos serviços e produtos, entre outros. Os principais desafios do setor de TI envolvem ambientes industriais *versus* IoT, desafios no desenvolvimento de software e redes, detecção de ataques, modelos de segurança e proteção de dados (KIESEBERG, PETER; WEIPPL, 2018).

Diferente das outras tecnologias que envolvem a Indústria 4.0, a segurança dos sistemas de TI deve ser analisada e avaliada de forma contínua, pois qualquer vulnerabilidade ou ponto fraco nela encontrada, acaba tornando-se alvo de ataques de *harckers*, podendo surgir problemas graves para a empresa. Esse processo contínuo torna-se um importante desafio para a empresa, devido ao fato de a mesma possuir mão de obra qualificada (WANG; ANOKHIN; ANDERL, 2017).

#### 2.3.3.8 Computação em Nuvem

De acordo com Charro e Schaefer (2018), a computação em nuvem, também conhecida como *Cloud Manufacturing*, é uma tecnologia que pertence à Quarta Revolução Industrial, que surgiu em 2010 por Li *et al.* e corresponde a um sistema de armazenamento que está presente de diferentes formas em todo lugar. Ela transformou a estrutura da computação com o armazenamento de dados em servidores online e, por consequência, trouxe inúmeros benefícios às empresas e à sociedade. Alguns desses benefícios são: mais espaços, proteção de dados, facilidade no compartilhamento, praticidade no acesso, recursos personalizados, entre outros (KUBLER et al., 2016).

Conforme Azevedo (2017), a computação em nuvem possui cinco características fundamentais, que são: sob demanda e autosserviços, acesso amplo à rede, conjunto de recursos, rápida elasticidade e serviço de medição. Além disso, é formada por três modelos de serviços que consistem em *software*, como serviço (SaaS), plataforma, como serviço (PaaS), e infraestrutura, como serviço (IaaS), e quatro modelos de implementações, sendo: nuvem privada, nuvem comunitária, nuvem pública e nuvem híbrida.

Analisando essa tecnologia perante os olhares dos consumidores, existem dois tipos de armazenamento em nuvem e podem ocorrer em códigos abertos ou fechados. Os códigos abertos englobam *Citrix*, *Open IOT* e os códigos fechados, como por exemplo, *Amazon*, *Azure* e *Google*. O recomendável é um código aberto, pois assim, o sistema torna-se independente, livre de fornecedores de plataforma (KUBLER *et al.*, 2016).

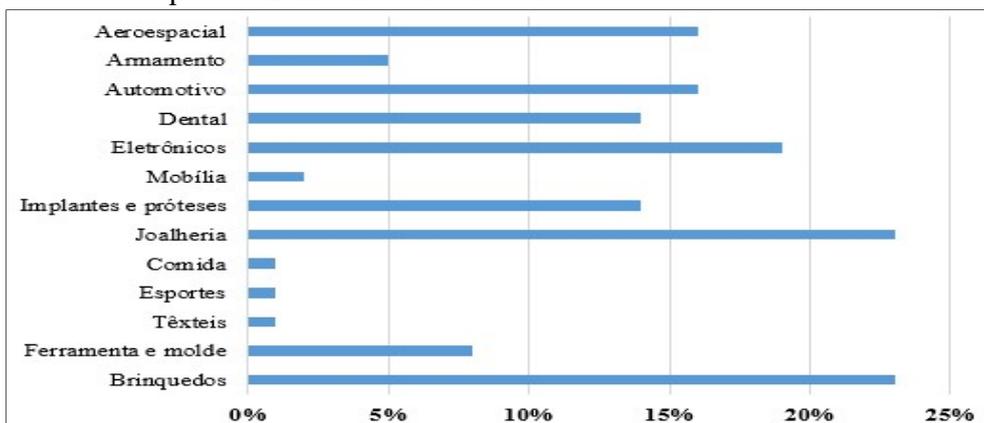
#### 2.3.3.9 Manufatura Aditiva (AM)

A Manufatura Aditiva (AM), também conhecida como “Impressão 3D”, vem modificando os meios produtivos devido a sua finalidade de produzir uma grande diversidade de produtos personalizados com ou sem especificações, sem aumento de custo e diretamente de dados 3D. Ela também está sendo muito usada onde os usuários adquirem uma impressora 3D e acabam produzindo e comercializando produtos através delas (KLEER; PILLER, 2019).

A AM é um exemplo de fabricação de sistema flexível, pois na produção de qualquer produto diminui a utilização de ferramentas e a fabricação torna-se mais rápida, podendo ser lotes pequenos ou grandes, com ou sem complexidade. Além disso, em alguns casos a AM faz o trabalho do setor de montagem, ou seja, já produz o produto final. Resumidamente, a manufatura aditiva diminuirá a complexidade no momento da fabricação dos produtos nos meios produtivos (GIBSON; ROSEN; STUCKER, 2010).

De acordo com a taxa de crescimento anual de máquinas e matérias de manufatura aditiva, do ano de 2016 para o ano de 2017 cresceu 80%, ultrapassando US \$ 7,3 bilhões. Isso é devido ao fato de a manufatura aditiva, hoje, ser atribuída a peças finais. Além disso, conforme os dados apresentados a AM está tomando cada vez mais espaço nas indústrias e processos dos inúmeros setores existentes, como aeroespacial, automotivo, saúde, esporte, entre outros. A figura 05 apresenta, de forma geral, a utilização dessa tecnologia nos setores.

Figura 5: Setores que utilizam a manufatura aditiva



Fonte: Adaptada de Meier *et al.* (2019).

Na figura 05, foram apresentados alguns setores que fazem uso da tecnologia AM, tornando-se, assim, mais competitivas no mercado e podendo, segundo Waterman e Dickens (1994), diminuir o tempo de comercialização em 90% e o tempo de fabricação em até 35%.

Mas, apesar disso tudo, a tecnologia possui algumas limitações, como por exemplo, a matéria-prima usada na prática que, muitas vezes, não ocorre o controle de sistemas de lazer e também o retorno financeiro do material de plástico (os quais são usados nas impressoras 3D), demandando mais tempo que o material de metal.

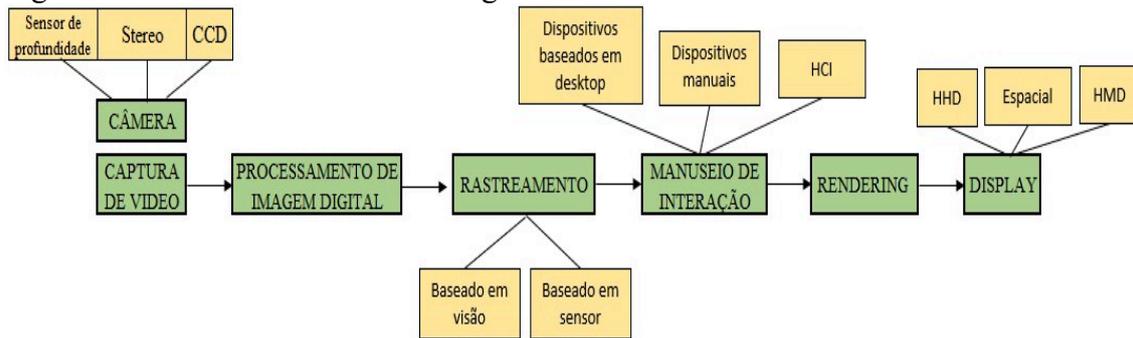
### 2.3.3.10 Realidade Aumentada

A realidade aumentada (AR), também conhecida como aplicação de realidade aumentada (IAR), é uma tecnologia que tem como finalidade captar informações do ambiente físico e transferir para o ambiente virtual.

Surgiu na década de 90 quando Cudell e Mizell desenvolveram um display a fim de ampliar o campo visual de um operador enquanto estava realizando o seu trabalho (FRAGA-LAMAS *et al.*, 2018).

A seguir, a figura 06 apresenta como funciona a tecnologia de realidade aumentada:

Figura 6: Funcionamento da Tecnologia RA



Fonte: Adaptada de Fraga-Lamas *et al.* (2018).

O processo inicia quando um dispositivo vai capturar uma imagem no mundo real. Essa captura ocorre através do software AR, que auxilia a câmera na posição correta da imagem e tem o auxílio de sensores de rastreamento que são baseados pela visão e sensores para a captura correta da imagem. Após a captura, a imagem obtém os recursos visuais em sistema e é exibida novamente através dos seguintes *hardwares displays* portátil (HHD), que são: os *tablets*, *smartphones*, entre outros; *displays* espaciais que transmitem informações gráficas e *displays* montados na cabeça (HMD), que são óculos e capacetes inteligentes (FRAGA-LAMAS *et al.*, 2018). A aplicação da tecnologia de IAR ocorre em vários tipos de empresas e em diversos departamentos, podendo ser criação de conteúdo virtual, orientação linear, controle de robôs, simulação de processos industriais, projetos virtuais, auxílio na assistência de manutenção, treinamentos, entre outros.

## 2.4 MÉTODO DE APOIO MULTICRITÉRIO À TOMADA DE DECISÃO

Durante o dia a dia vão surgindo diversos problemas que precisam ser resolvidos, podendo ser simples ou complexos de solucionar, com poucos ou muitos fatores que influenciam na decisão. Para auxiliar na resolução desses problemas existe o método de multicritério, o qual consegue agrupar todos os fatores relacionados ao problema para uma melhor decisão ou solução (TROJAN, 2012).

Segundo Campos (2011), existem elementos que fazem parte do processo de decisão, que são: atores, decisor, analista, alternativas, critérios e escalas.

- **Atores:** São pessoas que estão interessadas e ligadas de forma indireta ou diretamente pela problemática e o resultado final do processo de decisão;

- **Decisor:** O decisor, também conhecido como agente de decisão, pode ser uma pessoa ou um grupo de pessoas que tem a função mais importante no processo de decisão, que consiste na escolha da alternativa e responsabilizar-se pelas preferências;
- **Analista:** Também chamado de especialista, corresponde à pessoa que tem habilidades e conhecimento sobre o método de multicritério, auxiliando assim no processo de decisão;
- **Facilitador:** Com uma função diferente do analista, o facilitador assume o papel de interagir e ajudar as pessoas que estão envolvidas no processo de decisão, a compreender melhor as explicações e negociações do que está acontecendo;
- **Alternativas:** São todas as opções disponíveis, sendo elas reais, fictícias, realistas ou irrealistas, para o decisor tomar a decisão;
- **Crítérios:** Conhecidos também como atributos são fatores que contribuem para a avaliação das alternativas, podendo ser quantitativos e qualitativos.
- **Escalas:** Tem como finalidade avaliar os critérios qualitativos e quantitativos. Podendo ser nominais, ordinal, intervalar, razão.

#### 2.4.1 Tipos de Problemáticas

De acordo com Campos (2011), para a construção de um processo decisório é necessário entender primeiramente qual tipo de problemática ele corresponde, pois para cada tipo de problemática é direcionada qual método de multicritério é recomendável usar. Para Roy e Skalka (1985), existem quatro tipos de problemas que estão apresentados no quadro 5, adiante:

Quadro 5: Tipos de Problemáticas

<b>Problemática</b>	<b>Definição</b>
Problemática de seleção (P. $\alpha$ ):	Corresponde à escolha da melhor alternativa dentro de um determinado conjunto.
Problemática de classificação (P. $\beta$ ):	Tem como objetivo classificar as alternativas por categorias conforme normas/regras de cada organização.
Problemática de ordenação (P. $\gamma$ ):	Tem como finalidade ordenar as alternativas.
Problemática de descrição (P. $\delta$ ):	Tem como função descrever minuciosamente cada alternativa para, assim, o decisor poder entender de forma clara cada uma delas e poder seguir o processo de decisão.

Fonte: Adaptado de Roy e Skalka (1985).

Como apresentados no quadro 5, os quatro tipos de problemática são a seleção, a classificação, a ordenação e a descrição. Essas problemáticas não são independentes entre si, devido ser possível usar mais de uma problemática em problemas que envolvem o método de multicritério (CAMPOS, 2011); (GOMES, 2007).

#### 2.4.2 Relações de Preferência

De acordo com os ensinamentos de Roy (1996), o decisor escolhe a sua preferência ou indiferença perante as alternativas disponíveis. Essas preferências sucedem-se através de relações binárias, sendo:

- **Relação binária reflexiva** se  $(a\mathcal{R}a)$
- **Relação binária irreflexiva** se  $(\text{não } a\mathcal{R}a)$ ;
- **Relação binária simétrica** se  $(a\mathcal{R}b)$  ou  $(b\mathcal{R}a)$ ;
- **Relação binária assimétrica** se  $(a\mathcal{R}b)$  não  $(b\mathcal{R}a)$ ;
- **Relação binária transitiva** se  $(a\mathcal{R}b)$  e  $(b\mathcal{R}c)$  implicam em  $(a\mathcal{R}c)$ , para todo  $a, b, c$  que pertencente a  $A$ .

Além das relações binárias, Gomes, González e Carignano (2004) apresentam adiante, no quadro 6, as quatro relações de preferências e, no quadro 7, demonstra mais cinco situações de preferências que se originaram no quadro 6.

Quadro 6: Situações consolidadas de preferências do decisor

Situação	Definição	Relação Binária
Indiferença (I)	O decisor assume papel de igualdade entre as alternativas.	Simétrica e Reflexiva.
Preferência Estrita (P)	O decisor tem claro qual alternativa prefere.	Assimétrica e Irreflexiva
Preferência Fraca (Q)	O decisor não sabe qual alternativa prefere ou se não prefere nenhuma.	Assimétrica e Irreflexiva
Incomparabilidade (R) ou (NC)	Não se encontra em nenhuma das outras situações.	Simétrica

Fonte: Adaptado de Gomes, González e Carignano (2004).

Quadro 7: Situações consolidadas de preferências do decisor

Situação	Definição	Relação Binária
Não-preferência ( $\sim$ )	É quando o decisor não consegue diferenciar as alternativas.	$a \sim b = \text{se e somente se } aIb \text{ ou } aRb$
Preferência (no sentido amplo) ( $\succ$ )	Decisor não consegue definir se há preferência estrita ou fraca entre duas alternativas.	$a \succ b = \text{se e somente se } aPb \text{ ou } aQb$
Presunção de preferência (J)	Ocorre quando o decisor possui uma preferência fraca por uma alternativa, porém, no limite pode chegar à indiferença.	$aJb = \text{se e somente se } aQb \text{ ou } aIb$
K-preferência (K)	Acontece quando o decisor tem preferência estrita por uma das duas alternativas ou identifica uma incomparabilidade entre as mesmas.	$aKb = \text{se e somente se } aPb \text{ ou } aRb$
Superação (S)	Consiste na combinação das preferências estrita, fraca e indiferença, em que o decisor não consegue distingui-las.	$aSb = \text{se e somente se } aPb \text{ ou } aQb \text{ ou } aIb$

Fonte: Adaptado de Gomes, González e Carignano (2004).

Conforme Gomes (2007) após a apresentação das propriedades das relações binárias é estabelecido a estrutura de preferência, chamada de pré-ordem sobre um conjunto de alternativas. Porém, devido às relações de preferências da estrutura de pré-ordem e a imposição de transitividade, fazem com que a modelagem seja menos realista. Em consequência disso, acabam surgindo novos tipos de estrutura de ordem, que são: ordem completa; pré-ordem completa; quase ordem e ordem de intervalo; pré-ordem parcial; e pseudo-ordem (MOUSSEAU; SLOWINSKI; ZIELNIEWICZ, 2000). O quadro 8, a seguir, apresenta os conceitos de cada estrutura:

Quadro 8: Tipos de estruturas de ordem

Tipo de Estrutura	Conceito
Ordem completa	É caracterizada por uma noção clara de classificação, porém não tem a possibilidade de acontecer um empate por similaridade.
Pré-ordem completa	É característica por uma noção clara de classificação, podendo acontecer um empate por similaridade.
Quase ordem e ordem intervalo	É levado em consideração quando ocorre a possibilidade em que a relação de simétrica não é perfeitamente transitiva, com exceções em casos extremos.
Pré-ordem parcial	É característico pela ordenação dos elementos do “melhor” ao “pior”, sem ligação.
Pseudo-ordem	Contém três tipos de relações binárias: a preferência fraca (Q), a preferência estrita (P) e a indiferença (I). E ocorre também um liminar de indiferença (q) e outro de preferência (p). É utilizada na família ELECTRE.

Fonte: Adaptado de Campos (2011).

De acordo com Roy e Skalka (1985), os métodos de multicritérios podem ser classificados em três abordagens, que são demonstradas no quadro 9:

Quadro 9: Classificação dos métodos de multicritério

<b>Abordagem</b>	<b>Descrição</b>	<b>Método</b>
Critério único de síntese	Foi desenvolvido na Escola Americana e tem como finalidade agregar diversos pensamentos em relação de uma única função de síntese, que futuramente pode ser otimizada.	AHP MAUT SMART TOPSIS
Sobreclassificação ou subordinação	Influenciado pela Escola Francesa e possui como característica principal uma construção em relação à sobreclassificação, que leva em consideração as preferências do decisor. Além disso, a sobreclassificação auxilia o decisor a resolver os problemas.	ELECTRE; PROMETHÉE;
Julgamento Interativo	Constitui-se por métodos que consideram possíveis erros e falhas em estruturas de programações matemáticas multiobjetos.	STEM; TRIMAP; ICW; PARETO RACE

Fonte: Adaptado de Roy e Skalka (1985).

#### 2.4.1 MÉTODO AHP

Desenvolvido por Thomas L. Saaty em 1977, o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) tem como finalidade analisar alternativas/critérios em problemas de decisão subjetivos (SAATY, 1977). É um método compensatório que compara cada critério entre si por meio da escala de Saaty, onde os valores variam de 1 a 9, sendo 1 de igual importância e 9 de importância absoluta. Essa escala tem como objetivo atribuir valores conforme a preferência de cada critério. O quadro 10, a seguir, apresenta a escala de Saaty:

Quadro 10: Escala Saaty

<b>Valor</b>	<b>Definição</b>
1	Igual importância
3	Fraca importância
5	Forte importância
7	Muito forte importância
9	Importância absoluta
2,4,6,8	Valores intermediários

Fonte: Adaptado de Saaty (1977).

Para a implementação do método AHP após a estruturação do problema, segue-se as seguintes etapas:

1º Etapa: Comparar cada critério entre si numa escala numérica, na matriz de decisão apresentada no quadro 11, adiante.

Quadro 11: Matriz de Decisão AHP

Critérios	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	1/5	1	1	1
C2	1		1	1	1
C3	1	1		1	1
C4	1	1	1		1
C5	1	1	1	1	

Fonte: Autoria própria (2020).

2º Etapa: Após a atribuição dos pesos para cada critério foi determinada a normalização dos mesmos, onde o peso da coluna é dividido pela somatória da mesma, conforme a equação 1 (SRDJEVIC, 2005):

$$a_{ij}^l = a_{ij} \sum_{i=1}^n a_{ij}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n.$$

$$w_i = (1/n) \sum_{j=1}^n a_{ij}^l, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

3º Passo: Com a normalização realizada, o próximo passo é determinar a razão de consistência (RC) de cada matriz, que consiste no índice de consistência aleatória harmônica (HRI), apresentado na equação 2. Se o RC não estiver dentro de valores especificados, o resultado está incorreto. Nesse caso, deverá ser repetida as etapas 1 e 2 (STEIN; MIZZI, 2007).

n	HRI
3	0,550
4	0,859
5	1,061
6	1,205
7	1,310
8	1,381
9	1,437
10	1,484
15	1,599
20	1,650
25	1,675

$$ICH = \frac{(MH_s - n)(n+1)}{n(n-1)}$$

$$RC = ICH / HRI$$

RC	Tamanho da Matriz
0,05	Matriz 3 x 3
0,08	Matriz 4 x 4
0,10	Matrizes de ordem superior

(2)

4º Etapa: Após a validação das etapas anteriores, ocorre a classificação final dos critérios, com base na soma ponderada, conforme a equação 3:

$$R_i = \sum_{j=1}^m w_j \times P_{ij} \quad (3)$$

#### 2.4.3 Método Multicritério da Família ELECTRE

No início da década de 1950 com R. Benayoun e B. Roy na escola francesa, surgiu a família ELECTRE, que tem como significado um algoritmo de tradução de eliminação e escolha. A família ELECTRE pertence à abordagem de sobreclassificação, que se baseia no desenvolvimento que agrega as preferências estabelecidas pelo decisor perante os problemas e as alternativas disponíveis (ROY, 1996).

As características e versões dessa família estão expostas no quadro 12, a seguir:

Quadro 12: Versões da família ELECTRE

<b>Versão</b>	<b>Autor e Ano</b>	<b>Problemática</b>	<b>Tipo de Critério</b>	<b>Utiliza pesos</b>
ELECTRE I	Roy (1968)	Seleção	Simple	Sim
ELECTRE II	Roy e Bertier (1973)	Ordenação	Simple	Sim
ELECTRE III	Roy (1978)	Ordenação	Pseudo	Sim
ELECTRE IV	Roy Hugonnard (1982)	Ordenação	Pseudo	Não
ELECTRE IS	Roy e Skalka (1985)	Seleção	Pseudo	Sim
ELECTRE TRI	Yu Wei (1992)	Classificação	Pseudo	Sim

Fonte: Adaptado de Gomes, González e Carignano (2004).

De acordo com o quadro 12, a família ELECTRE possui três tipos de problemáticas, sendo de seleção, ordenação e classificação, e, na versão ELECTRE IV, não se utiliza pesos. Na versão ELECTRE I, o mesmo tem como problemática a seleção e tem como finalidade escolher a melhor ou as melhores alternativas consideradas aceitáveis perante o problema (ROY, 1996).

A versão ELECTRE II é um progresso da versão ELECTRE I, mas com problemática de ordenação e não de seleção. Seu objetivo é realizar um ranking das alternativas não dominadas, sempre seguindo da melhor para a pior (ROY; BERTIER, 1973). A versão do ELECTRE III é diferente da versão ELECTRE II, devido à aplicação da problemática ser pseudo-critérios e utilizar somente um decisor. O pseudo-

critérios consistem em estabelecer condições de preferência e indiferença quando o decisor não consegue ou não quer comparar duas alternativas (ROY, 1978).

A quarta versão do ELECTRE corresponde também a uma problemática de ordenação com aplicação de pseudo-critérios. A diferença do ELECTRE VI das demais versões, consiste na não utilização de pesos aos critérios (ROY; HUGONNARD, 1982). Já o ELECTRE IS utiliza a problemática de seleção com aplicação a pseudo-critérios e tem como finalidade escolher uma alternativa, mas se a alternativa “a” escolhida possui um desempenho inferior à alternativa “b”, ela é considerada boa igual à alternativa “b” (ROY; SKALKA, 1985).

E por fim, a última versão das famílias ELECTRE. O ELECTRE TRI possui como problemática a classificação e aplicado a pseudo-critérios tem como finalidade realizar o agrupamento das alternativas em classes pré-definidas, por meio da comparação de cada alternativa aos limites de cada classe (YU, 1992).

#### 2.4.3.1 ELECTRE II

O método de multicritério ELECTRE II é um aperfeiçoamento do ELECTRE I e foi desenvolvido por Roy e Bertier (1973), com o objetivo de ser utilizado em problemáticas de ordenação ( $P_y$ ), ordenando a melhor ação para a pior. Essa ordenação ocorre por meio do Índice de Concordância -  $C_{(a,b)}$ ; Índice de Discordância -  $D_{(a,b)}$ ; Limiar de Concordância -  $\rho$ ; Limiar de Incompatibilidade -  $q$ ; e as relações de sobreclassificação (VINCKE, 1992).

Segundo Vincke (1992), para cada critério é atribuído um peso ( $W$ ) que cresce conforme a importância do critério e para cada par ordenado  $(a, b)$  das ações é relacionado um índice para a construção de sobreclassificação. Olson (1997) apresenta, adiante, expressões matemáticas (4) e (5) para os índices de concordância e discordância:

Índice de concordância

$$C_{(a,b)} = \frac{\sum W^+ + W^=}{\sum W^+ + W^= + W^-} \quad (4)$$

$W^+$  – pesos dos critérios sob os quais  $a > b$ ;

$W^=$  – pesos dos critérios sob os quais  $a = b$ ;

$W^-$  – pesos dos critérios sob os quais  $a < b$ ;

Índice de discordância

$$D_{(a,b)} = \max \left[ \frac{Z_{bk} - Z_{ak}}{\sum_k^* - \sum_k^-} \right] \text{ para todo } k \text{ onde } b > a \quad (5)$$

$(b > a)$  – conjunto onde a alternativa  $b$  é preferida à  $a$ ;

$k$  – critérios sob os quais  $b > a$ ;

$Z_{bk}$  – a avaliação da alternativa  $b$  sob o critério  $k$ ;

$Z_{ak}$  – a avaliação da alternativa  $a$  sob o critério  $k$ ;

$Z_k^*$  – melhor grau de avaliação obtido para o critério  $k$ ;

$Z_k^-$  – pior grau de avaliação obtido para o critério  $k$ ;

Esse método ainda explora duas relações de sobreclassificação, sendo: relação forte ( $S^F$ ), (6) e relação fraca ( $S^f$ ), (7), considerando parâmetros  $(p^*, q^*, p^0, q^0)$  que serão utilizados como fronteiras de concordância e discordância, que são requeridas para identificar as relações de sobreclassificação:

Sobreclassificação Forte

$$aS^F b \left\{ \begin{array}{l} C(a, b) \geq p^* \\ D(a, b) \leq q^* \\ \sum W^+ \geq \sum W^- \end{array} \right\} \quad (6)$$

Sobreclassificação Fraca

$$aS^f b \left\{ \begin{array}{l} C(a, b) \geq p^0 \\ D(a, b) \leq q^0 \\ \sum W^+ \geq \sum W^- \end{array} \right\} \quad (7)$$

O método ELECTRE II proporciona uma ordenação das alternativas por meio da construção de duas pré-ordens completadas, uma descendente, isto é, das melhores alternativas para as piores, e a outra pré-ordens, que é concebida das piores alternativas para as melhores. As duas pré-ordens são analisadas em diversas interações.

Se as alternativas passarem nos dois testes é atribuído uma nova ordenação, sendo removidas do processo de análise, sendo reiniciado o processo de análise até que as alternativas restantes sejam ordenadas. A segunda pré-ordem é concebida da mesma

maneira (das piores para as melhores alternativas) para a aquisição de uma ordem inversa. Através da ordem inversa é obtida uma ordenação fraca por meio da equação matemática (8), proposta por Olson (1997) e apresentada abaixo:

$$R^w = 1 + \text{número de interações ordem reserva da alternativa em questão} \quad (8)$$

De acordo com Vincke (1992), ambas as pré-ordens não são as mesmas. Sendo assim, ao tomador de decisão deve ser oferecido uma pré-ordem mediana  $R^M = \frac{R^S + R^w}{2}$  para a identificação de sua ordem de preferência. De acordo com Gomes, González e Carignano (2004), os métodos de multicritério de apoio à decisão (MCDA) possuem ferramentas que auxiliam o decisor a compreender melhor a problemática para, assim, tomar a melhor decisão. O método ELECTRE II é resultado em uma ordenação das alternativas, ou seja, priorizando da melhor alternativa para a pior ou vice-versa. Nesse sentido, esse método vem de encontro com a pesquisa e ele auxilia gestores da indústria a visualizar o quanto das práticas da Indústria 4.0 são executadas dentro da indústria e quais não são. No quadro 13, a seguir, estão apresentados alguns trabalhos que utilizam o MCDA no contexto industrial e na Indústria 4.0:

Quadro 13: Métodos de multicritério utilizados no contexto industrial e na Indústria 4.0

<b>Autor</b>	<b>Título</b>
TIWARI, Rashmi; AGRAWAL, Sharad; KASDEKAR, Dinesh Kumar (2020)	Application of ELECTRE- I,II methods for EDM performance measures in manufacturing decision making
GUO, Quan (2019)	Logistics supply chain management based on business ecology theory
MA, Jingzhong; IANG, Yuxin (2013)	Study of Electre II multiple attribute decision-making method in construction project management mode selection
DAHER, Suzana de França Dantas; DE ALMEIDA, Adiel Teixeira. ( 2013)	Group Preference Aggregation Based on ELECTRE Methods for ERP System Selection
VINODH, S.; GIRUBHA, R. Jeya. (2012)	Sustainable concept selection using ELECTRE
SUCHARDOVÁ; BERNATÍK SUCHARDA (2011)	Assessment of loss results by means of multi-Criteria analysis
LONG, Qin et al. (2009)	Logistics Cost Optimized Election in the Manufacturing Process Based on ELECTURE-II Algorithm-take XinFeiLin artificial wood-based board company as an example

Fonte: Autoria própria (2020).

### 3.0 METODOLOGIA

O terceiro capítulo apresenta a metodologia da pesquisa, que consiste no enquadramento metodológico e na descrição das etapas para alcançar o objetivo proposto nesta pesquisa.

#### 3.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO

Para o desenvolvimento e a realização de uma pesquisa é necessário escolher uma metodologia a ser seguida. De acordo com Gil (2008), a metodologia nada mais é que uma investigação científica que tem como característica alcançar os objetivos pretendidos, agrupando vários procedimentos técnicos e intelectuais.

O enquadramento metodológico da presente dissertação, quanto à natureza, classifica-se como uma natureza aplicada, uma vez que essa natureza tem como objetivo o desenvolvimento de modelos/protótipos e visa o interesse prático (CAUCHICK MIGUEL *et al.*, 2012). Com relação aos objetivos, a pesquisa se caracteriza como uma pesquisa exploratória. De acordo com Lima e Miotto (2007), uma pesquisa exploratória visa a formulação de hipóteses e uma compreensão mais abrangente e completa do ambiente pesquisado.

A abordagem pode ser qualitativa, quantitativa e combinada. Nesta pesquisa é empregada a abordagem combinada, que possibilita um melhor entendimento sobre a problemática. A abordagem qualitativa caracteriza-se pela análise e escolha dos critérios (dimensões) e das alternativas (práticas da Indústria 4.0). Já a abordagem quantitativa é empregada devido ao procedimento de coleta de dados ocorrer por meio de dados numéricos e métodos estatísticos, uma vez que o método de multicritério AHP realiza a conversão da opinião dos especialistas em dados numéricos. E o método ELECTRE II também utiliza números para a entrada de dados no *software* J-ELECTRE (CAUCHICK MIGUEL *et al.*, 2012).

Do ponto de vista dos procedimentos, esta pesquisa utiliza a pesquisa bibliográfica e a pesquisa operacional. A pesquisa bibliográfica é necessária para a investigação do tema com base nos artigos científicos, livros, dissertações e teses que abordam o tema da pesquisa. Já a pesquisa operacional auxilia no processo de tomada

de decisões das melhores alternativas para as piores (CAUCHICK MIGUEL et al., 2012).

### 3.2 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

O levantamento bibliográfico utilizou o método PROKNOW C (*Knowledge Development Process Constructivist*) para a seleção dos artigos. Esse método foi desenvolvido por Ensslin (2010) e é dividido em quatro etapas: 1) seleção de um portfólio bibliográfico sobre o tema da pesquisa; 2) análise bibliométrica; 3) análise sistêmica; 4) definição da pergunta da pesquisa e objetivos.

Primeiramente foi definido o eixo da pesquisa, que corresponde à Indústria 4.0. Num segundo momento foram definidas as palavras chaves: “*Práticas*”, “*Diretrizes*”, “*Impactos*”, “*Métodos*”, “*Modelos*”, “*Princípios*”. E em seguida definiu-se as três bases de dados, que são: *Scopus*, *Web of Science* e *Scielo*. O quadro 14, adiante, apresenta as etapas para a seleção do portfólio bibliográfico referente ao tema central da pesquisa e os dados obtidos:

Quadro 14: Procedimento para seleção do portfólio bibliográfico

<b>Etapas</b>	<b>Quant.</b>
Bases de Dados (Scopus, Web of Science, Scielo)	28926
Eliminação dos duplicados	7469
Eliminação por títulos	6487
Eliminação por resumo	309
Eliminação por leitura completa	75

Fonte: Autoria própria (2020).

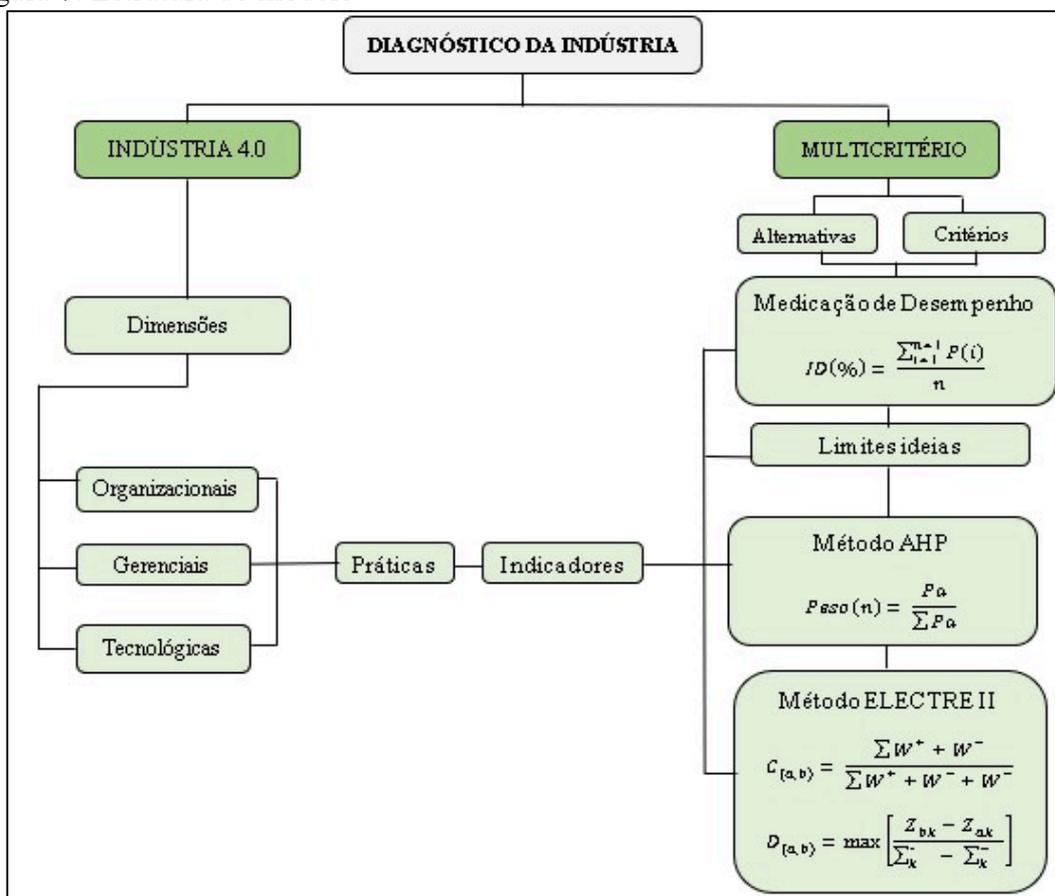
Conforme exposto no quadro acima, foi utilizado um total de 75 artigos para a pesquisa bibliográfica no que se refere ao tema central da pesquisa, os quais estão apresentados nos itens 2.2 e 2.3. Para o gerenciamento bibliográfico utilizou-se o *software Mendeley*.

### 3.3 ESTRUTURA DO MODELO

Para atingir o objetivo proposto nesta pesquisa, a qual possui como problemática desenvolver um diagnóstico em relação ao nível de capacitação que a indústria apresenta em relação às práticas da Indústria 4.0, primeiramente foi realizada uma busca na literatura para conhecer quais são as práticas da Indústria 4.0. Identificou-se que as práticas compreendem três dimensões: organizacionais, gerenciais e tecnológicas.

Cada dimensão compreende dez práticas e cada prática possui seus indicadores. Sendo assim, para mensurar esses indicadores foi escolhido o método de multicritério ELECTRE II, devido os métodos de multicritério possuírem ferramentas que auxiliam o decisor a compreender melhor a problemática e tomar a melhor decisão. Diferente dos outros métodos, esse método apresenta o resultado de forma de ordenação/*ranking* das alternativas, ou seja, priorizando da melhor alternativa para a pior ou vice-versa. A figura 7, abaixo, apresenta a estrutura do método:

Figura 7: Estrutura do modelo



Fonte: Autoria própria (2020).

O modelo escolhido visa contribuir para a realização do diagnóstico da indústria por meio da medição do desempenho dos indicadores de cada prática. Essa medição resulta em percentual de desempenho de cada prática, o qual será ordenado por meio do método ELECTRE II, demonstrando a prática que está com pior desempenho para a prática com melhor desempenho. Dessa forma, com o diagnóstico de ordenação, a indústria poderá realizar o planejamento para melhorar o desempenho das práticas mais críticas, levando em consideração a realidade atual e futura da indústria. Adiante estão apresentadas as práticas da Indústria 4.0, que correspondem às dimensões organizacionais, gerenciais e tecnológicas.

### 3.3.1 Definição das Alternativas

Em seguida foram estabelecidas as alternativas do método ELECTRE II, que representam as práticas da Indústria 4.0. Essas práticas são subdivididas em três critérios (dimensões), sendo: organizacionais, gerenciais e tecnológicas. Elas foram definidas através da literatura bibliográfica nos itens 2.2 e 2.3 desta pesquisa e estão apresentadas de forma resumida no quadro 15, adiante:

Quadro 15: Práticas da Indústria 4.0

DIMENSÃO: Organizacional	
PRÁTICA	AUTORES
1	<b>Cultura:</b> Costumes, crenças, leis pré-existentes na empresa. (SILVA, 2018); (MAZALI, 2018); (BALASINGHAM, 2016)
2	<b>Ambiente de Trabalho:</b> É o local onde o trabalhador exerce função laborativa. (SHAMIM, 2016); (BRUNS; STALKER, 1961)
3	<b>Lideranças:</b> Ato de comandar, influenciar, inspirar, motivar e orientar os funcionários. (SHAIM <i>et al</i> , 2016); (BIRASNAV, 2014); (MÜCELDILI; TURAN; ERDIL, 2013)
4	<b>Recursos Humanos:</b> Setor responsável pela gestão dos funcionários no ambiente de trabalho. (AGOSTINI, FILIPPINI, 2019); (SHAIM <i>et al</i> , 2016)
5	<b>Desenvolvimento Pessoal e Profissional:</b> É toda ação voltada ao crescimento/evolução de uma pessoa em uma determinada condição. (PEREIRA; ROMERO, 2017); (SILVA, 2008); (BALASINGHAM, 2016).
6	<b>Habilidades Profissionais:</b> Correspondem as competências que cada funcionário possui ou desenvolve no decorrer do tempo. (GRAGLIA, 2018); (AGOSTINI; FILIPPINI, 2019); (BALASINGHAM, 2016); (FARERI <i>et al</i> , 2020)
7	<b>Redução dos níveis hierárquicos:</b> Consiste na organização das responsabilidades das pessoas e cargos dentro da empresa. (EROL <i>et al</i> , 2016A); (SHAMIM <i>et al</i> , 2016)
8	<b>Aprendizagem contínua:</b> Ato de estar sempre aprendendo. (SILVA, 2008); (PEREIRA; ROMERO, 2017); (SHAIM <i>et al</i> , 2016)

9	<b>Desemprego tecnológico:</b> Adaptação/alteração do trabalho manual pelo mecanizado.	(PEREIRA; ROMERO, 2017); (ROBLEK; MESKO; KRAPEZ, 2016)
10	<b>Conscientização das tendências tecnológicas:</b> Entendimento sobre as tendências tecnológicas influenciam no meio.	(KAGERMANN <i>et al.</i> , 2013); (AGOSTINI; FILIPPINI, 2019)
<b>DIMENSÃO</b>		<b>Gerencial</b>
PRÁTICA		AUTORES
11	<b>Estrutura organizacional:</b> Técnicas e procedimentos que visam organizar e planejar as empresas para atingir os objetivos estratégicos.	(PEREIRA; ROMERO, 2017); (TÁMAS; ILLÉS, 2017); (PORTER; HEPPELMANN, 2015); (EROL <i>et al.</i> , 2016)
12	<b>Novos modelos de negócio:</b> Novas formas de trabalhar e oferecer os produtos ao mercado consumidor.	(PEREIRA; ROMERO, 2017); (SCHMIDT <i>et al.</i> , 2015); (JABBOUR <i>et al.</i> , 2020); (MELLO, 2018); (ABDALLA; SAMPAIO, 2018); (CARBONE <i>et al.</i> , 2015).
13	<b>Novos canais de vendas:</b> Novos meios que as empresas vendem seus produtos.	(CHAPARRO-PELÁEZ <i>et al.</i> , 2020); (HUXTABLE; SCHAEFER, 2016).
14	<b>Clientes:</b> Consumidor que adquire um bem ou serviço.	(PEREIRA; ROMERO, 2017); (QIN, LIU; GROSVENOR, 2016)
15	<b>Produção enxuta:</b> Sistema produtivo que visa a eliminação de desperdício.	(AGOSTINI; FILIPPINI, 2019); (SANDERS; ELANGESWARAN; WULFSBER, 2016); (HOFMANN; RÜSCH, 2017)
16	<b>Processos produtivos:</b> É um sistema de ações que realizam a transformação de objetos e elementos.	(PEREIRA; ROMERO, 2017); (MARQUES, <i>et al.</i> , 2017); (ZUEHLKE, 2010); (HOFMANN; RÜSCH, 2017); (CACHAY; ABELE, 2012).
17	<b>Fluxos de materiais:</b> Visa fornecer uma relação entre fornecedor-comprador por meio da compra ou venda do produto sob demanda.	(AGOSTINI; FILIPPINI, 2019); (HOFMANN; RÜSCH, 2017); (SCNIEDERJANS; CURADO); (KHALAJHEDAYATI, 2020).
18	<b>Fluxo de informação e comunicação:</b> Compreende o fluxo de informação e conhecimento por meio de sistemas.	(AGOSTINI; FILIPPINI, 2019); (PEREIRA; ROMERO, 2017); (SCHUCH <i>et al.</i> , 2014).
19	<b>Integração de sistemas:</b> São técnicas e sistemas interligados na cadeia produtiva que auxiliam na melhoria do desempenho da empresa.	(AGOSTINI; FILIPPINI, 2019); (JIANG, 2017); (PÉREZ-LARA <i>et al.</i> , 2018)
20	<b>Infraestrutura de TI:</b> Conjunto de hardware, software, redes, instalações e pessoas que dão suporte aos sistemas tecnológicos.	(WANG <i>et al.</i> , 2015); (AGOSTINI; FILIPPINI, 2019).
<b>DIMENSÃO</b>		<b>Tecnológica</b>
PRÁTICA		AUTORES
21	<b>Sistemas cyber-físicos (CPS):</b> Integração e conectividade do mundo real com o virtual.	(JIANG, 2017); (MAZAK; HUEMER, 2015); (LEE; BAGHERI; KAO, 2015)
22	<b>Internet das Coisas (IoT):</b> Sistema que conecta, interliga, reúne e transmite dados gerados através de objetos físicos.	(XU <i>et al.</i> (2018); (KUBLER <i>et al.</i> , 2016); (QIN <i>et al.</i> , 2016); (ATZORI; IERA; MORABITO, 2016)

23	<b>Internet de Serviços (IoS):</b> Fornecer serviços aos produtos e uma relação entre provedor e consumidor final.	(PEREIRA; ROMERO, 2017); (CARDOSO; VOIGT; WINKLER, 2008)
24	<b>Big Data:</b> Gerenciamento de dados.	(GÖLZER; FRITZSCHE, 2017); (FAN; LI; ZHOU, 2019); (VILLARS et al, 2011)
25	<b>Robótica:</b> Automação nos meios produtivos, através da implantação de robôs.	(DANIELSSON et al., 2017); (LANDSCHEIDT; KANS, 2016); (ACETO; PERSICO; PESCAPÉ, 2019); (DANIELSSON et al (2017); (ELLRAM; SIFERD, 1993)
26	<b>Simulação:</b> Técnica utilizada para compreender os futuros acontecimento dentro das empresas.	(POLENGUI; FUMAGALLI; RODA, 2018)
27	<b>Segurança Cibernética:</b> Conjunto de ações para prevenir e impedir ataques cibernéticos.	(WANG; ANOKHIN; ENDERL, 2017); (KIESEBERG; PETER; WEIPPL, 2018)
28	<b>Computação em Nuvem:</b> Armazenamento de dados.	(CHARRO; SCHAEFER, 2018); (KUBLER et al., 2016); (AZEVEDO, 2017)
29	<b>Manufatura Aditiva (AM):</b> Impressora 3D.	(KLEER; PILLER, 2019); (GIBSON; ROSEN; STUCKER, 2010); (WOHELRS, 2018); (WATERMAN; DICKENS, 1994)
30	<b>Realidade Aumentada:</b> Captar informações do ambiente físico para o ambiente virtual.	(FRAGA-LAMAS et al., 2018)

Fonte: Autoria própria (2020).

O quadro 15, acima, apresentou de forma resumida as três dimensões da Indústria 4.0, suas práticas e os respectivos autores que foram identificados na literatura. Além disso, é possível perceber, através da breve descrição de cada prática, que todas são diferentes, mas a realização de suas atividades se complementa e resulta em melhorias significativas à empresa.

### 3.3.2 Instrumento de pesquisa

Para obter o diagnóstico do nível de capacitação que a indústria apresenta em relação às práticas da Indústria 4.0 por meio do método ELECTRE II, faz-se necessário definir a “situação limítrofe ideal”, o índice do desempenho avaliado e o índice de desenvolvimento, com a finalidade de determinar o grau de distanciamento do indicador avaliado em relação ao ideal esperado. Esse procedimento sucedeu-se em quatro etapas:

1º Etapa: Foi verificado, juntamente com o diretor da indústria e os quatro sócios, quais são as práticas da Indústria 4.0 que eles não tinham conhecimento. Tal verificação foi necessária para o pesquisador poder realizar uma breve explicação sobre elas.

2º Etapa: Os quatro sócios e o diretor geral reuniram-se para definir qual seria a situação limite ideal de cada prática. Vale ressaltar que todos os sócios estão na indústria a mais de 15 anos, que iniciaram trabalhando como funcionários passando por diversos departamentos antes de tornarem-se sócios. Além disso, todos possuem formação superior e conhecimento sobre o contexto social e econômico, bem como das particularidades e o ramo que atua. Logo, é prudente afirmar que eles têm conhecimento prático e teórico suficiente para compreender a situação real da indústria e definir, juntamente com o diretor geral, a situação limite ideal.

3º Etapa: Nessa etapa ocorreu a avaliação de cada indicador pelo olhar do pesquisador, isto é, foi analisado como é a execução do indicador dentro da indústria, a partir de observação, conversa e coleta de dados na indústria. Esse procedimento ocorreu em toda a indústria e contou com o auxílio dos sócios e dos funcionários, quando necessário, de dados e de observações nas atividades executadas na indústria. Esse procedimento teve uma durabilidade de sete dias em virtude de a indústria apresentar e possuir a maioria dos dados necessários, bem como dispor de uma equipe de trabalho bem orientada e com conhecimento sobre o planejamento e os acontecimentos que ocorrem no dia a dia da indústria. Após os dados obtidos, os mesmos foram inseridos na fórmula apresentada no quadro 16, abaixo, o cálculo da fórmula consiste na divisão do numerador, pelo denominador. Os dados foram baseados a partir no ano de 2015 até hoje.

Quadro 16: Indicadores das Práticas da Indústria 4.0

<b>ORGANIZACIONAIS</b>		
<b>Prática 01: Cultura</b>		
<b>INDICADOR</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>CÁLCULO</b>
Mudança	$\left( \frac{TMud. Perm.}{TMud. Ocor.} \right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de mudanças permanentes. <i>Denominador:</i> Total de mudanças ocorridas.
Resistência para mudança por parte dos funcionários	$\left( \frac{TFunc. Perf AdapMud}{TFunc} \right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de funcionários com perfil para adaptação a mudanças. <i>Denominador:</i> Total de funcionários.
Resistência para mudança por parte dos gestores	$\left( \frac{TGest. Perf AdapMud}{TGest} \right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de gestores com perfil para adaptação a mudanças. <i>Denominador:</i> Total de gestores.

<b>Prática 02: Ambiente de Trabalho</b>		
<b>INDICADOR</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>CÁLCULO</b>
Ambiente flexível	$\left(\frac{TSet.AmbFlexMud}{TSet}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de setores com ambiente flexível a mudanças. <i>Denominador:</i> Total de setores.
Trabalho em equipe	$\left(\frac{TFun.PefTrabEqui}{TFunc}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de funcionários com perfil para trabalho em equipe. <i>Denominador:</i> Total de funcionários.
Participação de funcionários nas tomadas de decisões	$\left(\frac{TFun.PartTomDec}{TFunc}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de funcionários que participam nas tomadas de decisões. <i>Denominador:</i> Total de funcionários.
Ambiente que influencia no desenvolvimento e aprendizado dos funcionários	$\left(\frac{TAtiv.ExtPartFunc}{TAtiv}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de atividades extras com participação de funcionários. <i>Denominador:</i> Total de atividades.
<b>Prática 03: Lideranças</b>		
<b>INDICADOR</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>CÁLCULO</b>
Transformacional (motivam e incentivam no desenvolvimento dos funcionários em relação à inovação, realização de atividades novas, melhoramento do desempenho da empresa)	$\left(\frac{TGest.PerfTransf}{TGest}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de gestores com esse perfil transformacional. <i>Denominador:</i> Total de gestores.
Autêntica (abrange a liderança transformacional, proporciona o desenvolvimento de um ambiente honesto, transparente, ético e moral)	$\left(\frac{TGest.PerfAute}{TGest}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de gestores com esse perfil autêntico. <i>Denominador:</i> Total de gestores.
Transacional (voltados para a elaboração de estratégias, aperfeiçoamento da hierarquia e remuneração através do desempenho por funcionário)	$\left(\frac{TGest.PerfTrans}{TGest}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de gestores com esse perfil transacional. <i>Denominador:</i> Total de gestores.
Gestores que não possuem perfil transformacional, autêntico e transacional.	$\left(\frac{TGest.NaoPerAnt}{TGest}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de gestores que não possuem os perfis anteriores. <i>Denominador:</i> Total de gestores.

<b>Prática 04: Recursos Humanos</b>		
<b>INDICADOR</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>CÁLCULO</b>
Treinamento	$\left(\frac{TTrei.VIHabRprob}{TTrein}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de treinamentos voltados ao conhecimento sobre inovação, aperfeiçoamento de diferentes habilidades, trabalho em equipe, mentoria, resolução de problemas. <i>Denominador:</i> Total de treinamentos.
Pessoal (consiste na seleção de candidatos para contratação na empresa)	$\left(\frac{TFunc.ContOriApr}{TFunc}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de funcionários contratados com orientação de aprendizagem (candidato ter o hábito de estar aprendendo e melhorando diariamente). <i>Denominador:</i> Total de funcionários contratados.
Compensação por funcionário	$\left(\frac{TFunc.RecRenAdic}{TFunc}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de funcionários que recebem renumeração adicional. <i>Denominador:</i> Total de funcionários.
Compensação por função	$\left(\frac{TFunc.RecRenAdic}{TFuncoes}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de funções que possuem renumeração adicional. <i>Denominador:</i> Total de funções.
Avaliação de desempenho	$\left(\frac{TAb.AvaDespMBO}{TAb.AvDesp}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de avaliação de desempenho por MBO (abordagem do gerenciamento por objeto) <i>Denominador:</i> Total de abordagens de avaliação de desempenho.
<b>Prática 05: Desenvolvimento Pessoal e Profissional</b>		
<b>INDICADOR</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>CÁLCULO</b>
Treinamento	$\left(\frac{TTrei.DesPesProf}{TTrein}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de treinamentos voltados ao desenvolvimento pessoal e profissional. <i>Denominador:</i> Total de treinamentos.
Mentoria/coaching	$\left(\frac{TMent.DesPesProf}{TMentoria}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de mentorias/coaching voltados ao desenvolvimento pessoal e profissional.

		<i>Denominador:</i> Total de mentorias/ <i>coaching</i> .
Simulação de processos de digitação	$\left(\frac{TSim.ProcDigi}{TSimulacao}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de simulações voltados aos processos de digitação. <i>Denominador:</i> Total de simulação.

#### Prática 06: Habilidades Profissionais

INDICADOR	FÓRMULA	CÁLCULO
Habilidades Profissionais	$\left(\frac{THb.InTcnComAp}{THab}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de funcionários com habilidades voltadas à inovação, informação, tecnologia e comunicação, aprendizagem contínua e senso de cooperação. <i>Denominador:</i> Total de funcionários.
Treinamentos	$\left(\frac{Num.Trei.DesPeP.}{TTreinamentos}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de treinamentos voltados à responsabilidade, interesses pessoais, digitalização, controle, tecnológicas. <i>Denominador:</i> Total de treinamentos.
<i>Insight</i> (técnica voltada aos gestores e o setor de recursos humanos para compreensão do que está ocorrendo)	$\left(\frac{T Gest.TecInsights}{T Gest}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de gestores que possuem técnica <i>insight</i> . <i>Denominador:</i> Total de gestores.

#### Prática 07: Redução dos níveis hierárquicos

INDICADOR	FÓRMULA	CÁLCULO
Estrutura matricial (Corresponde à descentralização e a flexibilidade da hierarquia da empresa na realização de projetos)	$\left(\frac{TFunc.PartProj}{TGer.Projeto}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de funcionários que participam de projetos. <i>Denominador:</i> Total de gerentes por projetos.
Equipes de projeto	$\left(\frac{TProj.DivTarefas}{TProjetos}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de projetos com divisão de tarefas. <i>Denominador:</i> Total de projetos.
Hierarquia plena	$\left(\frac{TNiveis.HierRed}{TNiveis.Hierar}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de níveis hierárquicos que podem ser reduzidos. <i>Denominador:</i> Total de níveis hierárquicos.
Descentralização	$\left(\frac{TNveis.HierDesc}{TNiveis.Hierar}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de níveis hierárquicos que praticam a

		descentralização. <i>Denominador:</i> Total de níveis hierárquicos.
<b>Prática 08: Aprendizagem contínua</b>		
<b>INDICADOR</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>CÁLCULO</b>
Eventos, palestras, cursos e atividades afins, que vão de encontro aos princípios da indústria	$\left(\frac{TEventos.IndParti}{TEventos.Ocor}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de eventos que a indústria participou. <i>Denominador:</i> Total de eventos (em geral) ocorridos.
Eventos, palestras, cursos e atividades afins, que os funcionários participaram	$\left(\frac{TEventos.FunParti}{TEventos}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de eventos que os funcionários participaram. <i>Denominador:</i> Total de eventos (em geral) ocorridos.
Experiência dos funcionários	$\left(\frac{TFunc.ExpOutrasIn}{TFunc}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de funcionários que possuem experiências em outras indústrias. <i>Denominador:</i> Total de funcionários.
Estudos	$\left(\frac{TFunc.Estudam}{TFunc}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de funcionários que estudam. <i>Denominador:</i> Total de funcionários.
Experiência dos gestores	$\left(\frac{TGes.ExpOutrasIn}{TGestores}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de gestores que possuem experiências em outras indústrias. <i>Denominador:</i> Total de gestores.
Faixa Etária abaixo de 18 anos	$\left(\frac{TFunc.IdAte18anos}{TFunc}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de funcionários com idade até 18 anos. <i>Denominador:</i> Total de funcionários.
Faixa Etária entre 19 a 29 anos	$\left(\frac{TFunc.Fx19a29anos}{TFunc}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de funcionários com faixa etária entre 19 a 29 anos. <i>Denominador:</i> Total de funcionários.
Faixa Etária entre 30 a 49 anos	$\left(\frac{TFunc.Fx30a49anos}{TFunc}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de funcionários com faixa etária entre 30 a 49 anos. <i>Denominador:</i> Total de funcionários.
Faixa Etária acima de 50 anos	$\left(\frac{TFunc.FxAc50anos}{TFunc}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de funcionários com faixa etária acima de 50 anos. <i>Denominador:</i> Total de

		funcionários.
<b>Prática 09: Desemprego tecnológico</b>		
<b>INDICADOR</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>CÁLCULO</b>
Cargos que podem ser remodelados	$\left(\frac{TCarg. PodemRem}{TCarg}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de cargos que podem ser remodelados. <i>Denominador:</i> Total de cargos.
Cargos que foram remodelados	$\left(\frac{TCarg. ForamRem}{TCarg}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de cargos que foram remodelados. <i>Denominador:</i> Total de cargos.
Funções que podem ser remodeladas	$\left(\frac{TFunc. PodemRem}{TFunc}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de funções que podem ser remodeladas. <i>Denominador:</i> Total de funções.
Funções que foram remodeladas	$\left(\frac{TFunc. ForamRem}{TFunc}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de funções que foram remodeladas. <i>Denominador:</i> Total de funções.
Treinamentos	$\left(\frac{TTrei. RemCargFunc}{TTrein}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de treinamentos relacionados à remodelação de cargos/funções. <i>Denominador:</i> Total de treinamentos.
Empregos	$\left(\frac{TEmp. SubsPorTec}{TEmp}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de empregos que foram substituídos por tecnologias. <i>Denominador:</i> Total de empregos.
<b>Prática 10: Conscientização das tendências tecnológicas</b>		
<b>INDICADOR</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>CÁLCULO</b>
Estratégias	$\left(\frac{TEst. VolInd4.0}{TEstrategia}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de estratégias voltadas à Indústria 4.0. <i>Denominador:</i> Total de estratégias.
Implementação de tecnologias	$\left(\frac{TTec. Impl. Set}{TSetores}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de tecnologia implementada por setores. <i>Denominador:</i> Total de setores.
Ficha de descrição de funcionários	$\left(\frac{TFunc. FichaDesc}{TFuncionarios}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de funcionários com ficha de descrição. <i>Denominador:</i> Total de

		funcionários.
GERENCIAIS		
Prática 11: Estrutura organizacional		
INDICADOR	FÓRMULA	CÁLCULO
Planejamento estratégico	$\left(\frac{T_{Ges. PartPlanEst}}{T_{Gest}}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de gestores que participam do planejamento estratégico da indústria. <i>Denominador:</i> Total de gestores da indústria.
Projetos voltados à Indústria 4.0	$\left(\frac{T_{Proj. VolInd4.0}}{T_{Proj}}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de projetos voltados à Indústria 4.0. <i>Denominador:</i> Total de projetos.
Planejamento de projetos	$\left(\frac{T_{Proj. ComPlan}}{T_{Proj}}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de projetos com planejamento. <i>Denominador:</i> Total de projetos.
Projetos	$\left(\frac{T_{Proj. ObtSuce}}{T_{Proj}}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de projetos que obtiveram sucesso. <i>Denominador:</i> Total de projetos.
Roteiro de projetos	$\left(\frac{T_{Proj. ComRot}}{T_{Proj}}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de projetos com roteiro. <i>Denominador:</i> Total de projetos.
Prática 12: Novos modelos de negócio		
INDICADOR	FÓRMULA	CÁLCULO
Economia circular	$\left(\frac{T_{Prod. Reuti}}{T_{Prod. DestDesc}}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de produtos/matéria prima reutilizados. <i>Denominador:</i> Total de produtos/matéria prima que são destinadas ao descarte.
Sustentabilidade	$\left(\frac{T_{Acoes. Sust}}{T_{Acoes}}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de ações voltadas à sustentabilidade. <i>Denominador:</i> Total de ações.
Prática 13: Novos canais de vendas		
INDICADOR	FÓRMULA	CÁLCULO
Uso de plataformas digitais	$\left(\frac{T_{Vendas. PlatDig}}{T_{Vendas}}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de vendas por meio de plataformas digitais. <i>Denominador:</i> Total de vendas.

Sistema de serviços de produtos	$\left(\frac{TProd.ServInc}{TProd}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de produtos com serviço incluso. <i>Denominador:</i> Total de produtos.
<b>Prática 14: Clientes</b>		
<b>INDICADOR</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>CÁLCULO</b>
Projetos	$\left(\frac{TProj.Efet}{TProj.Real}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de projetos efetivados. <i>Denominador:</i> Total de projetos realizados.
Pedido dos clientes	$\left(\frac{TCl.ExProdPers}{TClientes}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de clientes que exigem produtos personalizados. <i>Denominador:</i> Total de clientes.
Pedidos com restrição realizados	$\left(\frac{TPed.ComRest}{TPedidos}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de pedidos realizados com restrição. <i>Denominador:</i> Total de pedidos.
Pedidos com restrição rejeitados	$\left(\frac{TPed.ComRestRej}{TPed.ComRest}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de pedidos com restrição rejeitados. <i>Denominador:</i> Total de pedidos com restrições.
Comunicação com o cliente	$\left(\frac{TCl.IndContDir}{TClientes}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de clientes que a indústria tem contato direto. <i>Denominador:</i> Total de clientes.
<b>Prática 15: Produção enxuta</b>		
<b>INDICADOR</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>CÁLCULO</b>
Feedbacks do fornecedor	$\left(\frac{TFeedb.Forn}{TForn}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de feedbacks de fornecedor. <i>Denominador:</i> Total de fornecedor.
Produção puxada	$\left(\frac{TPlan.ProdPuxa}{TPlanej}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de planejamento com produção puxada. <i>Denominador:</i> Total de planejamento de produção.
Manutenção preventiva	$\left(\frac{TMan.PrevReal}{TMan.PrevProg}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de manutenção preventiva realizada. <i>Denominador:</i> Total de manutenção preventiva programada.
Manutenção corretiva	$\left(\frac{TMan.CoretReal}{TMan.Ocorrida}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de manutenção corretiva realizada.

		<i>Denominador:</i> Total de manutenção ocorrida.
Controle estatístico do processo	$\left(\frac{TProc. ContEst}{TProcessos}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de processo com controle estatístico. <i>Denominador:</i> Total de processos.
Envolvimento dos funcionários	$\left(\frac{TFun. EnvProcDec}{TFunc}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de funcionários que são envolvidos nos processos de decisões. <i>Denominador:</i> Total de funcionários.

**Prática 16: Processo Produtivo**

<b>INDICADOR</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>CÁLCULO</b>
Produção em massa	$\left(\frac{TProd. Prod}{TProd. SolCliente}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de produtos produzidos do pedido. <i>Denominador:</i> Total de produtos solicitado pelo cliente.
Produção personalizada	$\left(\frac{TPed. Person}{TPedidos}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de pedidos personalizados. <i>Denominador:</i> Total de pedidos.
Produção flexível	$\left(\frac{TProc. Flexível}{TProcessos}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de processo flexível. <i>Denominador:</i> Total de processos.
Sistema just-in-time na produção	$\left(\frac{TProc. JIT}{Tprocessos}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de processo que utilizam o sistema just-in-time (JIT). <i>Denominador:</i> Total de processos.
Sistema just-in-sequence na produção	$\left(\frac{TProc. JIS}{TProcessos}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de processo que utilizam o just-in-sequence (JIS). <i>Denominador:</i> Total de processos.

**Prática 17: Fluxos de materiais**

<b>INDICADOR</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>CÁLCULO</b>
Relação com fornecedores	$\left(\frac{TForn. RelProx}{TForn}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de fornecedores com relações próximas. <i>Denominador:</i> Total de fornecedores.
Pedido de compra	$\left(\frac{TQuant. SolPedCom}{TQuant. Nece}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total da quantidade solicitada no pedido de compra. <i>Denominador:</i> Total da quantidade necessária.

Sistemas	$\left(\frac{TInf.Analisadas}{TIinf.Disp}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de informações analisadas. <i>Denominador:</i> Total de informações disponíveis.
Entrega	$\left(\frac{D.Chematprim}{D.Usadomatprim}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Dia que chegou a matéria-prima. <i>Denominador:</i> Dia que será usada a matéria-prima.

#### Prática 18: Fluxo de informação e comunicação

INDICADOR	FÓRMULA	CÁLCULO
Dispositivo móvel	$\left(\frac{TFunc.AcDispMov}{TFunc}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de funcionários com acesso a dispositivos móveis. <i>Denominador:</i> Total de funcionários.
Acesso à internet	$\left(\frac{TFunc.AcesInt}{TFunc}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de funcionários com acesso à internet. <i>Denominador:</i> Total de funcionários.
Comunicação entre Máquinas	$\left(\frac{TMaq.ComSis}{TMaq}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de máquinas que possuem comunicação entre si. <i>Denominador:</i> Total de máquinas.

#### Prática 19: Integração de sistemas

INDICADOR	FÓRMULA	CÁLCULO
Integração de sistemas	$\left(\frac{TSet.IntSis}{TSetores}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de setores interligados via sistema. <i>Denominador:</i> Total de setores.
Ambiente externo	$\left(\frac{TSet.ExtIntSis}{TSetores}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de setores externos interligados via sistema. <i>Denominador:</i> Total de setores.
Ambiente interno	$\left(\frac{TSet.IntIntSis}{TSetores}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de setores internos interligados via sistema. <i>Denominador:</i> Total de setores.

#### Prática 20: Infraestrutura de TIC

INDICADOR	FÓRMULA	CÁLCULO
Funcionários envolvidos com o setor de TI	$\left(\frac{TFunc.EnvSetTI}{TFunc}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de funcionários envolvidos com o setor de TI. <i>Denominador:</i> Total de funcionários.

Funcionários qualificados	$\left(\frac{T_{Fun. QualTecInf}}{TFunc}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de funcionários qualificados em tecnologia de informação. <i>Denominador:</i> Total de funcionários.
Setor de TI	$\left(\frac{N. SetorTI}{N. Setores}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Número de setor de TI. <i>Denominador:</i> Número de setores.
Investimento em TI	$\left(\frac{T_{Invs. TI}}{TInves}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de investimento em TI. <i>Denominador:</i> Total de investimento.
Acesso à internet	$\left(\frac{T_{Proc. AcesInt}}{TProc}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de processos com acesso à internet. <i>Denominador:</i> Total de processos.
<b>TECNOLÓGICO</b>		
<b>Prática 21: Sistemas cyber-físicos (CPS)</b>		
<b>INDICADOR</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>CÁLCULO</b>
Integração de setores	$\left(\frac{T. setores}{T. set. intsis}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de setores. <i>Denominador:</i> Total de setores interligados via sistemas.
Integração de máquinas	$\left(\frac{T. maquinas}{T. maq. intsis}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de máquinas. <i>Denominador:</i> Total de máquinas interligados via sistemas.
Investimento em sistemas	$\left(\frac{T_{Invs. Sistemas}}{TInves}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de investimento em sistemas. <i>Denominador:</i> Total de investimento.
<b>Prática 22: Internet das coisas (IoT)</b>		
<b>INDICADOR</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>CÁLCULO</b>
Sistemas	$\left(\frac{TSis. ObjFisicos}{TSistemas}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de sistemas. <i>Denominador:</i> Total de sistemas em objetos físicos.
Objetos inteligentes	$\left(\frac{T_{Maq. Inteligente}}{TMaquinas}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de máquinas inteligentes. <i>Denominador:</i> Total de máquinas.

<b>Prática 23: Internet de Serviços (IoS)</b>		
<b>INDICADOR</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>CÁLCULO</b>
Produtos	$\left(\frac{TProd. DispServ}{TProdutos}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de produtos que disponibilizam um serviço. <i>Denominador:</i> Total de produtos.
Comercialização de serviços	$\left(\frac{TServ. Comer}{T.servcomer.}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de serviços comercializados. <i>Denominador:</i> Total de serviços disponíveis na indústria.
Comércio eletrônico	$\left(\frac{TVend. PlatElet}{TVendas}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de vendas por plataformas eletrônicas (sites, redes sociais, whatsapp). <i>Denominador:</i> Total de vendas.
<b>Prática 24: Big Data</b>		
<b>INDICADOR</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>CÁLCULO</b>
Coleta de dados por setor	$\left(\frac{TDados. ColetSet}{TSetores}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de dados coletados por setor. <i>Denominador:</i> Total de setores.
Coleta de dados por máquina	$\left(\frac{TDados. ColetMaq}{TMaquinas}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de dados coletados por máquina. <i>Denominador:</i> Total de máquinas.
Coleta de dados por funcionário	$\left(\frac{TDados. ColetFun}{TDados. Colet}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de dados coletados por funcionários. <i>Denominador:</i> Total de dados coletados.
Sistema de coleta	$\left(\frac{TDados. ColetSis}{TDados. Colet}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de dados coletados via sistema. <i>Denominador:</i> Total de dados coletados.
Análise dos dados	$\left(\frac{TDados. Anal}{TDados}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de dados analisados. <i>Denominador:</i> Total de dados.
Utilização dos dados	$\left(\frac{TDad. UtiTomDec}{TDados}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de dados utilizados para tomada de decisão. <i>Denominador:</i> Total de dados.

<b>Prática 25: Robótica</b>		
<b>INDICADOR</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>CÁLCULO</b>
Automação	$\left(\frac{TMaq. Autm}{TMaq}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de máquinas automatizadas. <i>Denominador:</i> Total de máquinas.
Sem automação	$\left(\frac{TMaq. NaoAutm}{TMaq}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de máquinas não automatizadas. <i>Denominador:</i> Total de máquinas.
Interação entre homem-máquina	$\left(\frac{TMaq. IntHomMaaq}{TMaq}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de máquinas que ocorre a interação homem-máquina. <i>Denominador:</i> Total de máquinas.
Processo Manual	$\left(\frac{TProc. Manuais}{TProc}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de processos manuais. <i>Denominador:</i> Total de processos.
Investimento em automação	$\left(\frac{TInv. Aut}{TInvestimento}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de investimento em automação. <i>Denominador:</i> Total de investimento.
<b>Prática 26: Simulação</b>		
<b>INDICADOR</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>CÁLCULO</b>
Desenvolvimento de sistemas	$\left(\frac{NSim. RealDesSist}{TSistemas}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Número de simulações realizadas no desenvolvimento de sistemas. <i>Denominador:</i> Total de sistemas.
Decisões	$\left(\frac{NSim. ReaDeci}{TDecisoes}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Número de simulações realizadas nas decisões. <i>Denominador:</i> Total de decisões.
Planejamento de manutenção	$\left(\frac{NSim. ReaPlanMan}{TSimulacoes}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Número de simulações realizadas no planejamento de manutenção. <i>Denominador:</i> Total de simulações.
Planejamento de produção	$\left(\frac{NSim. ReaPlanProd}{TSimulacoes}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Número de simulações realizadas no planejamento de produção. <i>Denominador:</i> Total de simulações.

<b>Prática 27: Segurança cibernética</b>		
<b>INDICADOR</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>CÁLCULO</b>
Proteção de dados	$\left(\frac{TTec.UtiProtDados}{TTec.Disp}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de técnicas utilizadas para proteção de dados. <i>Denominador:</i> Total de técnicas de proteção disponíveis.
Avaliação contínua	$\left(\frac{TAvaliações}{T.DiasTrab}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de avaliações. <i>Denominador:</i> Total de dias trabalhados.
Mão de obra qualificada	$\left(\frac{TFunc.Qualifi}{TFunc}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de funcionários qualificados. <i>Denominador:</i> Total de funcionários.
<b>Prática 28: Computação em nuvem</b>		
<b>INDICADOR</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>CÁLCULO</b>
Armazenamento de dados	$\left(\frac{TDados.ArmOnl}{TDados}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de dados armazenados online. <i>Denominador:</i> Total de dados.
<b>Prática 29: Manufatura Aditiva (AM)</b>		
<b>INDICADOR</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>CÁLCULO</b>
Impressora 3D	$\left(\frac{TTec.ManuAdi}{T.Tecnologia}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Tecnologia de Manufatura Aditiva. <i>Denominador:</i> Total de tecnologia.
Investimento em tecnologia de manufatura aditiva	$\left(\frac{TInv.TecnManuAdi}{TInv.Tecnologia}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de investimento em tecnologia na manufatura aditiva. <i>Denominador:</i> Total de investimento em tecnologia.
<b>Prática 30: Realidade Aumentada</b>		
<b>INDICADOR</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>CÁLCULO</b>
Tecnologia da realidade aumentada	$\left(\frac{TTec.Rea.Aum.}{T.Tecnologia}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Tecnologia de Realidade Aumentada. <i>Denominador:</i> Total de tecnologia.
Investimento em tecnologia de realidade aumentada	$\left(\frac{TInv.TecnReaAum}{TInv.Tecnologia}\right) * 100$	<i>Numerador:</i> Total de investimento em tecnologia de realidade aumentada. <i>Denominador:</i> Total de investimento em tecnologia.

Fonte: Autoria própria (2020).

**4º Etapa:** Os dados obtidos foram inseridos na matriz de avaliação para a obtenção do percentual das práticas da Indústria 4.0 na indústria em questão. Esse percentual foi chamado de Índice de Desempenho (ID), calculado através da expressão matemática (9). Quanto maior o percentual do índice de desempenho da prática, menor será o seu desenvolvimento dentro da indústria. A demonstração prévia da matriz de avaliação com seu resultado está apresentada na tabela 1, a seguir.

$$ID(\%) = \frac{\sum_{i=1}^{n=i} P(i)}{n} \quad (9)$$

$n$  = número de indicadores da prática

$$\sum_{i=1}^{n=i} P(i) = \text{somatória dos valores da avaliação dos itens desdobrados}$$

Tabela 1: Exemplo da matriz para avaliação e seu resultado na indústria

DIMENSÃO ORGANIZACIONAL														
Prática 1 - Cultura														
Indicador	Estágio de Implementação da boa prática Porcentagem de Implementação	Situação Limite ideal						Avaliação						
		0%	20%	50%	80%	90%	100%	0%	20%	40%	60%	80%	100%	
1	Percentual de mudanças permanentes.					0,9				0,2				
2	Percentual de resistência para mudança por parte dos funcionários					0,9				0,4				
3	Percentual de resistência para mudança por parte dos gestores					0,9						0,8		
Índice de desempenho da prática (%) = $\{[S(A,B,C,D,E,F)/\text{número de itens (3)}]\}$		90%	0	0	0	0	2,7	0	0	0,2	0,4	0	0,8	0
		47%	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Prática 2 - Ambiente de Trabalho														
Indicador	Estágio de Implementação da boa prática Porcentagem de Implementação	Situação Limite ideal						Avaliação						
		0%	20%	50%	80%	90%	100%	0%	20%	40%	60%	80%	100%	
1	Percentual de setores com ambiente flexível a mudanças.					0,9				0,4				
2	Percentual de funcionários com perfil para trabalho em equipe.					0,9					0,6			
3	Percentual de funcionários que participam nas tomadas de decisões.					0,9				0,4				
4	Percentual de atividades extras com participação dos funcionários.					0,9				0,4				
Índice de desempenho da prática (%) = $\{[S(A,B,C,D,E,F)/\text{número de itens (4)}]\}$		90%	0	0	0	0	2,7	0	0	0	0,8	0,6	0	0
		47%	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F

Fonte: Autoria própria (2020).

A tabela 1 é uma prévia da matriz de avaliação, a matriz completa encontra-se no anexo A deste trabalho. A matriz apresenta as três dimensões da indústria, as suas práticas e os indicadores de cada prática. Cada indicador será representado por um percentual, calculado pela equação 9 desta pesquisa. Esse percentual é resultado dos dados obtidos na indústria.

Com os limites definidos - na percepção da direção/sócios - e a avaliação do desempenho real, ocorreu a aplicação no método de multicritério ELECTRE II, fazendo-se necessária a definição dos critérios, que nesta pesquisa são representados pelas três dimensões da indústria: organizacionais, gerenciais e tecnológicas, bem como o peso de cada critério, que foi definido por meio do método de multicritério chamado AHP.

### 3.4 APLICAÇÃO DO MODELO

Para a aplicação do modelo apresentado na seção anterior é preciso conhecer o universo da pesquisa. Sendo assim, segundo Lima e Miotto (2007), “[...] o universo ou população é o conjunto de seres animados ou inanimados que apresentam pelo menos uma característica em comum”. Assim, a população amostral desta pesquisa são as indústrias. Já o universo da pesquisa é uma indústria do ramo moveleiro localizada na Região Sudoeste do Paraná.

#### 3.4.1 Caracterização do estudo

Segundo Brainer (2018), o setor moveleiro é distribuído em quatro classes. Essas classes, de acordo com a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), são: móveis com madeira, móveis com metal, móveis de outros materiais e colchões. A seguir, a tabela 02 apresenta os dados do setor mundial de móveis.

Tabela 2: Dados Mundiais do Setor de Móveis 2015

<b>Blocos Econômicos/ Países</b>	<b>Produção (US\$ milhão)</b>	<b>Consumo (US\$ milhão)</b>	<b>Consumo Per Capita (US\$)</b>	<b>Exportação (US\$ milhão)</b>	<b>Importação (US\$ milhão)</b>
<b>Europa</b>	<b>107.790</b>	<b>106.188</b>	<b>141</b>	<b>58.639</b>	<b>55.815</b>
União Europeia	105.277	99.804	135	57.557	50.696
Noruega e Suíça	2.513	6.384	405	1.082	5.119
<b>Leste Europeu e Rússia</b>	<b>14.283</b>	<b>15.794</b>	<b>54</b>	<b>1.694</b>	<b>4.972</b>
<b>Ásia e Pacífico</b>	<b>273.830</b>	<b>221.978</b>	<b>54</b>	<b>64.615</b>	<b>17.668</b>
China	212.554	161.989	118	49.363	2.271
Japão	11.059	15.476	122	1.343	5.592
Outros	50.216	44.513	17	13.909	9.805
<b>Oriente Médio e África</b>	<b>8.079</b>	<b>16.135</b>	<b>13</b>	<b>3.449</b>	<b>9.553</b>

<b>América do Norte</b>	<b>59.032</b>	<b>98.440</b>	<b>203</b>	<b>12.987</b>	<b>44.064</b>
Estados Unidos	47.015	85.348	265	7.432	36.801
Canadá	9.339	11.243	313	3.914	6.375
México	2.617	1.849	15	1.641	888
<b>América do Sul</b>	<b>18.883</b>	<b>20.024</b>	<b>48</b>	<b>1.110</b>	<b>2.559</b>
Brasil	15.473	15.547	75	704	649
Outros	3.410	4.477	21	406	1.909
<b>Total</b>	<b>481.897</b>	<b>478.560</b>	<b>64</b>	<b>142.494</b>	<b>134.631</b>

Fonte: Adaptado de DEPEC-BRADESCO (2019).

Como é possível perceber na tabela 02, o total de produção mundial no ano de 2015 foi de 481.897 bilhões de dólares e o consumo foi de 478.560 bilhões de dólares, logo, a produção conseguiu atender à demanda. Os continentes que mais obtiveram produção e demanda a nível mundial foram a Ásia e o Pacífico e, os que menos obtiveram, foram o Oriente Médio e a África. Já a América do Sul corresponde a 4% da produção e consumo e o Brasil representa 3% de produção e consumo referente ao total mundial.

Analisando os aspectos de exportação e importação, os continentes à frente continuam sendo a Ásia e o Pacífico e, os inferiores, o Oriente Médio e a África. A América do Sul encontra-se com 4% em relação ao consumo e produção. Já o Brasil produziu e consumiu 3% do total mundial e exportou e importou 0,5% do total mundial. Porém, esses dados não foram suficientes para atender à demanda de consumo.

Em 2015 o segmento moveleiro nacional tinha 21,8 mil empresas de móveis, com aproximadamente 235 mil empregados. A maior concentração desses dados corresponde às regiões sul e sudeste com 77,3% em relação às empresas e 82,4% em empregos. A tabela 03, abaixo, apresenta os dados por região.

Tabela 3: Dados da Indústria de Móveis por região - 2016

<b>Região</b>	<b>Estabelecimento</b>
CENTRO-OESTE	7,9%
NORTE	2,5%
SUL	39,8%
SUDESTE	37,5%
NORDESTE	12,2%

Fonte: Adaptado do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior - MDIC (2018).

A tabela 03 apresentou os dados do número de estabelecimentos existentes nas cinco regiões do Brasil, mas todas essas regiões ainda sofrem com a sazonalidade

durante o ano, sendo que os meses mais fortes são outubro e novembro devido ao recebimento do décimo terceiro salário dos trabalhadores (BRAINER, 2018). Dentro do setor moveleiro, o mesmo é dividido em três grandes núcleos que são apresentados a seguir, de acordo com Nossack (2014).

**Bases Produtivas e Insumos:** Consiste na base produtiva e insumos, a qual interfere diretamente na produtividade, no desenvolvimento tecnológico e maior investimento de uma organização.

- Matérias-primas: A madeira e seus derivados são o principal componente do produto acabado.
- Ferragens: São os insumos que têm a função de juntar os componentes dos móveis. Por exemplo: dobradiças, corrediças, parafusos, travas, etc.
- Acabamentos: Consiste nos insumos que fazem a diferenciação dos produtos moveleiros. Por exemplo: processos de pintura, estampas diversas, revestimentos químicos, etc.
- Acessórios: São elementos que fazem parte do produto, como puxadores, insumos de organização interna em gavetas, ganchos, portas, etc.

**Modalidades Produtivas:** Representam as modalidades produtivas, isto é, os tipos de produtos que compõem o mercado do setor moveleiro.

- Seriada: O produto acabado é caracterizado por um único projeto, o qual é composto integralmente na fábrica. Pode ser produzido em linhas de produção e são vendidos para os lojistas exporem nas lojas.
- Modulada: Também chamado de componível, a forma modulada é possível produzir em linha, porém a venda é por módulos, onde o cliente possui um mix de módulos e pode montar o seu produto final.
- Planejada: Consiste no desenvolvimento de um projeto único de acordo com os requisitos que o cliente solicitou.
- Sob encomenda em série: São produtos que não compõem o portfólio do fabricante. São produzidos de forma seriada, sob a demanda única do lojista.

- Sob encomenda individual: São produtos produzidos conforme a necessidade do cliente, não adaptando-se em linhas produtivas. Logo, o produto acaba possuindo um valor mais caro.

**Comercialização:** Corresponde no modo que ocorrem as vendas no varejo.

- Magazines: Redes de varejistas de grande porte em que se atinge um público com menor poder aquisitivo devido às promoções de crédito ao consumidor. Juntamente com os móveis são vendidos outros eletrodomésticos.
- Grandes lojas multimarcas/MegaStores: Grandes redes de varejistas, sendo o móvel o seu principal produto de venda. Ocorrem vendas de outros produtos, como enxovais e utilidades domésticas.
- Lojas próprias/Lojas Marca: Possui como principal produto os móveis planejados. O modo de comercialização pode ocorrer através de franquias, filiais ou por distribuição autorizada. Nesse caso a administração da empresa não se envolve na comercialização, somente o uso da marca.
- Lojas Multimarcas/ Varejo ‘picado’: São representados pelos lojistas individuais e pequenas redes de comércio. São de extrema importância para cidades menores, onde não comporta uma rede de varejo grande.

#### 3.4.2 Apresentação da indústria para aplicação

A indústria utilizada para a aplicação da pesquisa está presente no mercado a 28 anos e conta com um quadro de aproximadamente 200 funcionários. Comercializa seus produtos nacional e internacionalmente através do segmento seriado. Possui representantes comerciais em diferentes estados brasileiros e é considerada uma empresa de médio porte.

Tem como diferencial no mercado o setor de desenvolvimento de produtos, o qual realiza o desenvolvimento de produtos conforme a necessidade do cliente e exclusivo a ele. Isso é possível porque a indústria possui um setor de matriz e, assim sendo, consegue desenvolver os próprios moldes das peças. A indústria está estudando a possibilidade de adquirir uma impressora 3D para substituir alguns processos do setor de matriz.

É uma empresa que possui setores definidos, cada um contendo seus gestores. A maioria das máquinas é automatizada, sendo algumas específicas para o processo da indústria. Essas máquinas operam com no máximo dois funcionários, onde os mesmos têm somente a função de alimentar e retirar as peças da máquina e acionar o botão de liga/desliga. O único setor que tem 90% dos processos manuais é o setor de montagem.

Os dados do processo produtivo são coletados de forma manual, alimentados em um sistema e analisados quando necessário. Cada setor tem seus dados disponíveis e a segurança dos mesmos é através de drives, *Dropbox*, entre outros. Já os dados comerciais de compras e financeiros são todos via sistemas e também analisados quando necessários. A indústria possui um sistema avançado, porém não ocorre a integração na indústria como um todo.

Uma característica bem presente na Indústria é que a mesma analisa e simula tudo o que envolve investimento financeiro ou redução de custos através de sistemas, reuniões, planejamentos e protótipos. Além disso, a indústria está com projetos futuros de aquisição de robôs e máquinas que gerem dados em tempo real e, também, pretende adquirir um outro pátio fabril.

### 3.4.3 APLICAÇÃO DO ELECTRE II

Os percentuais de cada indicador da indústria foram inseridos na matriz de avaliação, no anexo A desta pesquisa. A matriz de avaliação apresenta os 3 critérios, contendo 10 práticas cada critério e um total de 116 indicadores.

Além disso, demonstra o percentual ideal -definido pelo diretor e os sócios- o percentual avaliado e a diferença do mesmo. Sendo assim, foi possível obter o percentual de cada prática, que ocorreu por meio da média dos indicadores de cada prática.

Antes da aplicação do método ELECTRE II foi definido os critérios da pesquisa, que são as três dimensões da empresa: organizacionais, gerenciais e tecnológicas.

Os pesos de cada critério foram definidos por um especialista da área de engenharia de produção, o diretor e os três sócios da indústria, sendo utilizado o método de multicritério AHP para a obtenção dos pesos. Adiante será apresentada a tabela 4

com os pesos definidos e a tabela 5 com os dados completos para inserir no método ELECTRE II.

Tabela 4: Pesos dos critérios

<b>Critério</b>	<b>Esp. 1</b>	<b>Esp. 2</b>	<b>Esp. 3</b>	<b>Esp. 4</b>	<b>Esp. 5</b>	<b>Média Geométrica</b>	<b>Normalização dos Pesos</b>
<b>Organizacional</b>	0,333	0,405	0,633	0,333	0,607	0,444	0,471
<b>Gerencial</b>	0,333	0,480	0,260	0,333	0,303	0,335	0,355
<b>Tecnológica</b>	0,333	0,115	0,106	0,333	0,090	0,165	0,175
						0,944	

Fonte: Autoria própria (2020).

É importante destacar que todas as matrizes obtiveram razão de consistência menor que 0,05. Sendo assim, ocorreu o processo de inserção dos dados coletados no ELECTRE II. A tabela 5, adiante, apresenta os dados inseridos.

Tabela 5: Matriz de Avaliação para o ELECTRE II

<b>Peso</b>	0,471	0,355	0,175	<b>Peso</b>	0,471	0,355	0,175
<b>Critério</b>	<b>Organizacional</b>	<b>Gerencial</b>	<b>Tecnológico</b>	<b>Critério</b>	<b>Organizacional</b>	<b>Gerencial</b>	<b>Tecnológico</b>
1	0,43	0,32	0,16	16	0,40	0,30	0,15
2	0,45	0,34	0,17	17	0,13	0,10	0,05
3	0,40	0,30	0,15	18	0,93	0,70	0,35
4	0,47	0,35	0,17	19	0,57	0,43	0,21
5	0,50	0,38	0,19	20	0,66	0,50	0,25
6	0,50	0,38	0,19	21	1,35	1,01	0,50
7	0,69	0,52	0,26	22	1,61	1,22	0,60
8	0,57	0,43	0,21	23	1,16	0,87	0,43
9	0,67	0,50	0,25	24	1,43	1,08	0,53
10	0,54	0,41	0,20	25	1,24	0,93	0,46
11	0,41	0,31	0,15	26	1,48	1,12	0,55
12	0,60	0,45	0,22	27	1,35	1,01	0,50
13	0,20	0,15	0,07	28	0,81	0,61	0,30
14	0,46	0,35	0,17	29	1,61	1,22	0,60
15	0,36	0,27	0,13	30	1,61	1,22	0,60

Fonte: Autoria própria (2020).

De acordo com a tabela 5, a matriz de avaliação gerou uma matriz 30x30, devido ter três critérios e cada um possuir 10 práticas. Os valores destacados em

amarelo representam a diferença do percentual ideal -definido pelo diretor e os sócios- e pelo percentual real avaliado. Os demais valores das práticas representam a importância dos mesmos em relação aos pesos dos outros critérios. A tabela 6, abaixo, apresenta a matriz de concordância e discordância do método ELECTRE II e a tabela 7 apresenta o resultado da aplicação do método, que corresponde ao ranking das práticas da Indústria 4.0 na indústria pesquisada.

Tabela 6: Matriz de Concordância e Discordância do método ELECTRE II

MATRIZ DE CONCORDÂNCIA																
p=0,6 e q=0,3																
...	a15	a16	a17	a18	a19	a20	a21	a22	a23	a24	a25	a26	a27	a28	a29	a30
a15	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.8252	0.3546	0.8252	0.3546	0.8252	0.3546	0.8252	0.4705	0.3546	0.3546
a16	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.8252	0.3546	0.8252	0.3546	0.8252	0.3546	0.8252	0.4705	0.3546	0.3546
a17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3546	0.0	0.0	0.3546	0.3546	0.0	0.3546	0.0	0.0	0.0
a18	1.0	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0	0.8252	0.8252	0.8252	0.8252	0.8252	0.8252	0.8252	1.0	0.8252	0.8252
a19	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.8252	0.3546	0.8252	0.8252	0.8252	0.8252	0.8252	0.8252	0.3546	0.3546
a20	1.0	1.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.8252	0.8252	0.8252	0.8252	0.8252	0.8252	0.8252	0.8252	0.8252	0.8252
a21	0.1748	0.1748	0.6454	0.1748	0.1748	0.1748	0.0	0.0	0.6454	0.0	0.6454	0.0	1.0	0.6454	0.0	0.0
a22	0.6454	0.6454	1.0	0.1748	0.6454	0.1748	1.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.6454	1.0	1.0
a23	0.1748	0.1748	1.0	0.1748	0.1748	0.1748	0.3546	0.0	0.0	0.3546	0.3546	0.3546	0.3546	0.1748	0.0	0.0
a24	0.6454	0.6454	0.6454	0.1748	0.1748	0.1748	1.0	0.0	0.6454	0.0	1.0	0.0	1.0	0.6454	0.0	0.0
a25	0.1748	0.1748	0.6454	0.1748	0.1748	0.1748	0.3546	0.0	0.6454	0.0	0.0	0.0	0.3546	0.6454	0.0	0.0
a26	0.6454	0.6454	1.0	0.1748	0.1748	0.1748	1.0	0.0	0.6454	1.0	1.0	0.0	1.0	0.6454	0.0	0.0
a27	0.1748	0.1748	0.6454	0.1748	0.1748	0.1748	1.0	0.0	0.6454	0.0	0.6454	0.0	0.0	0.6454	0.0	0.0
a28	0.5295	0.5295	1.0	0.0	0.1748	0.1748	0.3546	0.3546	0.8252	0.3546	0.3546	0.3546	0.3546	0.0	0.3546	0.3546
a29	0.6454	0.6454	1.0	0.1748	0.6454	0.1748	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.6454	0.0	1.0
a30	0.6454	0.6454	1.0	0.1748	0.6454	0.1748	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.6454	1.0	0.0

MATRIZ DE DISCONCORDÂNCIA																
p=0,6 e q=0,3																
...	a15	a16	a17	a18	a19	a20	a21	a22	a23	a24	a25	a26	a27	a28	a29	a30
a15	0.0	0.05	0.0	0.7125	0.2625	0.375	0.4625	0.5875	0.375	0.5	0.4125	0.525	0.4625	0.2125	0.5875	0.5875
a16	0.0	0.0	0.0	0.6625	0.2125	0.325	0.4375	0.5625	0.35	0.475	0.3875	0.5	0.4375	0.1875	0.5625	0.5625
a17	0.2875	0.3375	0.0	1.0	0.55	0.6625	0.5625	0.6875	0.475	0.6	0.5125	0.625	0.5625	0.3625	0.6875	0.6875
a18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1875	0.3125	0.1	0.225	0.1375	0.25	0.1875	0.0	0.3125	0.3125
a19	0.0	0.0	0.0	0.45	0.0	0.1125	0.3625	0.4875	0.275	0.4	0.3125	0.425	0.3625	0.1125	0.4875	0.4875
a20	0.0	0.0	0.0	0.3375	0.0	0.0	0.3125	0.4375	0.225	0.35	0.2625	0.375	0.3125	0.0625	0.4375	0.4375
a21	0.325	0.3625	0.1125	0.8625	0.525	0.6125	0.0	0.325	0.15	0.1	0.075	0.1625	0.0	0.475	0.325	0.325
a22	0.0625	0.1	0.0	0.6	0.2625	0.35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2125	0.0	0.0
a23	0.25	0.3	0.0	0.9625	0.5125	0.625	0.2375	0.5625	0.0	0.3375	0.1	0.4	0.2375	0.325	0.5625	0.5625
a24	0.2375	0.275	0.025	0.775	0.4375	0.525	0.0	0.225	0.0625	0.0	0.0	0.0625	0.0	0.3875	0.225	0.225
a25	0.25	0.2875	0.0375	0.8625	0.45	0.5375	0.1375	0.4625	0.075	0.2375	0.0	0.3	0.1375	0.4	0.4625	0.4625
a26	0.1875	0.225	0.0	0.725	0.3875	0.475	0.0	0.1625	0.0125	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3375	0.1625	0.1625
a27	0.325	0.3625	0.1125	0.8625	0.525	0.6125	0.0	0.325	0.15	0.1	0.075	0.1625	0.0	0.475	0.325	0.325
a28	0.2125	0.2625	0.0	0.925	0.475	0.5875	0.25	0.525	0.1625	0.3	0.2	0.3625	0.25	0.0	0.525	0.525
a29	0.0625	0.1	0.0	0.6	0.2625	0.35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2125	0.0	0.0
a30	0.0625	0.1	0.0	0.6	0.2625	0.35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2125	0.0	0.0

Fonte: Autoria própria (2020).

Conforme a tabela 6, foi apresentado uma prévia da matriz de concordância e da matriz discordância gerada na aplicação do método ELECTRE II. O índice de concordância (p) é igual a 0,6 e o índice de discordância (q) foi de 0,3.

Tabela 7: *Ranking* inverso das práticas da Indústria 4.0

Alternativa (Práticas da Indústria 4.0)	Ranking	Alternativa (Práticas da Indústria 4.0)	Ranking	Alternativa (Práticas da Indústria 4.0)	Ranking
A18	1°	A8	11°	A2	21°
A7	2°	A10	12°	A1	22°
A22	3°	A24	13°	A28	23°
A29	4°	A5	14°	A11	24°
A30	5°	A6	15°	A23	25°
A9	6°	A4	16°	A16	26°
A20	7°	A21	17°	A3	27°
A12	8°	A27	18°	A15	28°
A26	9°	A14	19°	A13	29°
A19	10°	A25	20°	A17	30°

Fonte: Autoria própria (2020).

Por fim, após todo o processo de construção da estrutura do método, do roteiro para coleta dos dados e da aplicação dos dados no método ELECTRE II, o mesmo resultou no *ranking* dos indicadores. A tabela 7 apresenta o *ranking* inverso, onde a primeira posição elenca a prática com pior desempenho para as práticas com melhor desempenho. O *ranking* inverso teve como objetivo apresentar, primeiramente, as práticas com pior desempenho, para a indústria poder visualizar melhor quais são as práticas que deveram ser melhoradas primeiramente.

#### 4. RESULTADOS

A tabela 7 apresenta o resultado desta pesquisa, que consiste no *ranking* inverso das alternativas (práticas da Indústria 4.0), com base nos pesos dos três critérios (dimensões) da indústria, definidos pelo diretor e os quatro sócios. Os critérios são organizacionais, gerenciais e tecnológicos e foram definidos de acordo com a análise da literatura. O ranking elenca a prática com pior desempenho para a prática com melhor desempenho.

Conforme o *ranking* inverso, apresentado na tabela 7, a prática com pior desempenho é a prática 18 que equivale ao fluxo de informação e conhecimento da dimensão gerencial. Essa prática compreende a comunicação e o conhecimento da indústria como um todo em tempo real. Essa comunicação ocorre, principalmente, pela integração de sistemas, máquinas e funcionários via software. A indústria em questão apresenta *wifi* em quase 90% da cadeia produtiva, porém o uso da internet é restringindo aos gerentes. Algumas máquinas possuem acesso à internet, mas não ocorre a comunicação com as demais máquinas.

No segundo lugar do *ranking* está a prática 7, que representa a redução dos níveis hierárquicos e corresponde ao critério organizacional. Os indicadores que compõem essa prática são: estrutura matricial, equipes de projeto, hierarquia plena e descentralização. Se possível desenvolver mais uma frase nesse parágrafo.

Um dos fatores em que a indústria pesquisada obteve o pior percentual nessa prática é devido ao modelo de negócio da mesma, que condiz com uma produção em larga escala, característica do modelo fordista. A produção em massa reflete uma estrutura centralizada com hierarquia rígida e com postos de trabalhos fixos. A indústria possui condições de realizar uma produção com produtos personalizados, porém essa produção deve ocorrer conforme as condições que a indústria trabalha, isto é, o produto é personalizado ao cliente, porém o pedido possui lote mínimo para produção.

Em relação às equipes de projetos, a indústria contém profissionais qualificados em diversas áreas e vários projetos, alguns em andamento e outros não, mas essas equipes de projetos são compostas pelos gerentes, sem o envolvimento de funcionários em níveis hierárquicos mais baixos. Logo, as decisões são sempre tomadas pelos mesmos funcionários e, conseqüentemente, os demais funcionários não desenvolvem autonomia e responsabilidade nas atividades executadas na indústria.

Em terceiro lugar encontra-se a prática 22, que corresponde à dimensão de tecnologia, que consiste na tecnológica da internet das coisas (IoT), isto é, integração via sistemas de objetos físicos inteligentes. Vale ressaltar que a indústria está realizando a troca de maquinários por máquinas alemãs, mais modernas e com tecnologias avançadas. Logo, o planejamento da indústria no período de tempo de dois anos, possuirá muito mais tecnologia.

Outra análise do quadro 21 equivale à comparação das práticas da Indústria 4.0 com os três critérios (dimensões). O critério em que aparece as 10 práticas por primeiro no ranking é o critério tecnológico, em segundo lugar o critério organizacional e em terceiro lugar o critério gerencial. O critério organizacional envolve aspectos voltados ao ser humano. O critério gerencial corresponde aos aspectos de processos e infraestrutura. E o tecnológico corresponde à aquisição das tecnológicas da Indústria 4.0.

Alguns dos fatores que levaram a indústria a apresentar tais práticas com os piores desempenhos, são o contexto social da região em que está instalada, os costumes pré-existentes das pessoas e a falta de informação e conhecimento sobre os avanços tecnológicos e os acontecimentos que estão ocorrendo no mundo. O conhecimento, os acontecimentos e as informações ocorrem de forma acelerada. Logo, mesmo que a indústria possua pessoas que estejam em busca de conhecimento, a aplicação dessas informações e conhecimentos no contexto prático ainda é muito lenta, comparada com a aceleração da informação.

A dimensão gerencial da indústria é mais avançada, devido os conceitos e as práticas dessa dimensão serem mais antigos e testados em outras indústrias. Logo, a indústria pesquisada teve tempo necessário para compreender como funciona e como aplicar as práticas. Porém, vale ressaltar que quando a indústria começou a realizar essas mudanças, eram poucas as indústrias na região que tinham conhecimento sobre essas práticas, sendo plausível afirmar que a indústria em questão sempre está tentando melhorar os seus processos.

Já as três práticas com melhor desempenho enquadram-se na dimensão gerencial e são as práticas: fluxo de materiais, novos canais de vendas e produção enxuta. O sistema produtivo da indústria é bem avançado nos conceitos do Sistema Toyota de Produção, principalmente no sistema *just-in-time*, que, conseqüentemente, aumenta a sua produtividade, eficiência e qualidade, bem como diminui os custos.

Além disso, com base no conhecimento da indústria e das trinta práticas apresentadas na pesquisa, aproximadamente 10 delas envolvem investimentos financeiros altos, que correspondem à aquisição de novos equipamentos ou máquinas para a indústria, sendo as práticas que envolvem a dimensão tecnológica. As demais práticas envolvem a alteração do modo da execução que as práticas são realizadas na indústria.

Apesar de o ranking apresentar as dez primeiras práticas, sendo do âmbito tecnológico, visto que essas práticas envolvem investimentos financeiros e aquisição de equipamentos e máquinas, a indústria já está em processo de implementação de melhorias no âmbito tecnológico. Porém, essas práticas tecnológicas envolvem também as dimensões organizacionais e gerenciais, ou seja, o elemento humano é fundamental para a efetivação da execução da prática.

De modo geral, os resultados obtidos foram significativos para a indústria, pois através deles foi possível compreender melhor como está o seu desempenho nas três dimensões e desenvolver um planejamento e um roteiro para melhorar esses indicadores e as práticas, de uma forma mais assertiva. Como a indústria possui equipes de trabalho competentes e comprometidas, no primeiro momento essas equipes estarão analisando cada indicador que corresponde às práticas com pior desempenho e propor um plano de ação de acordo com as suas condições atuais. Esses melhoramentos tornam a indústria mais competitiva no mercado.

Vale ressaltar que alguns desses indicadores correspondem às práticas que envolvem pouco investimento financeiro, como é o caso das práticas 01, 02, 03, 04, 07, 10, 11, 15, 16 e 17 que pertencem às dimensões organizacionais e gerenciais. Contudo, para melhorar ou realizar a implantação dos indicadores dessas práticas, é necessário a indústria possuir lideranças preparadas que auxiliem na alteração dos costumes pré-existentes dos funcionários e da cultura da indústria, podendo gerar resistência e atrito dentro da indústria com os funcionários.

## 5. CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo propor uma metodologia de diagnóstico das práticas da Indústria 4.0, através de indicadores para melhorar o nível de capacitação das empresas neste contexto. O resultado foi de extrema valia para os gestores das indústrias e para os pesquisadores que pretendem diagnosticar o índice de desempenho de cada prática da Indústria 4.0 nas indústrias, com a finalidade de conseguir compreender e decidir quais são as possíveis medidas a serem tomadas para melhorar o desempenho dessas práticas e manter a indústria competitiva no mercado.

Com base na pesquisa de literatura sobre a Indústria 4.0 foram definidos os 3 critérios, as 10 práticas de cada critério e os 116 indicadores, sendo assim o primeiro e segundo objetivos específicos foram atingidos. É importante lembrar que nessa pesquisa foram consideradas trinta práticas, porém a literatura pode apresentar mais práticas ou diferentes daquelas utilizadas.

O terceiro objetivo consiste na aplicação prática da pesquisa, que ocorreu em uma indústria moveleira localizada no Sudoeste do Paraná. A partir do instrumento de pesquisa e do método de multicritério AHP e ELECTRE II, resultaram no *ranking* inverso das práticas, atingindo o quarto objetivo específico.

Com base no *ranking* inverso foram identificadas as dez práticas com pior desempenho: a prática 18, que consiste no fluxo informação e conhecimento, a prática 7, representada pela redução dos níveis hierárquicos, a prática 22, sendo a internet das coisas (IoT), a prática 29, que é manufatura aditiva, a prática 30, que corresponde à realidade aumentada, a prática 9, que representa o desemprego tecnológico, a prática 20, que equivale a infraestrutura da TIC, a prática 12, que consiste nos novos modelos de negócio, a prática 26, que é a simulação e na décima posição e a prática 19, que engloba a integração de sistemas.

Um dos fatores que impactaram no resultado das dez práticas com pior desempenho foi o fato de serem oriundas de diversos fatores difíceis de controlar e alterar, que são os indicadores que envolvem os costumes pré-existente da indústria, seja dos funcionários ou da região que está instalada. Além disso, atualmente as informações surgem e desaparecem de forma acelerada, sendo difícil acompanhar e implementar na mesma velocidade essas melhorias na execução das atividades da indústria.

Já as dez práticas com melhor desempenho são: a prática 17, que consiste no fluxo de materiais, a prática 13, representada pelos novos canais de vendas, a prática 15, sendo produção enxuta, a prática 3, que é lideranças, a prática 16, que corresponde aos processos produtivos, a prática 23, representada pela internet de serviço (IoS), a prática 11, que equivale na estrutura organizacional, a prática 28, que consiste na computação em nuvem, a prática 1, representada pela cultura e a prática 2, que engloba o ambiente de trabalho.

Essas práticas obtiveram o melhor desempenho, pois suas práticas são oriundas de elementos já conhecidos no âmbito industrial ao longo do tempo, sendo mais fáceis de controlar e implementar, que é o caso do Sistema Toyota de Produção. Vale ressaltar também que cada indústria possui características próprias, sendo assim, cada indústria apresentará o seu próprio *ranking*.

O percentual geral do índice de desempenho da indústria em relação as práticas da Indústria 4.0 foi de 48%. O diretor e os sócios não esperavam esse resultado, eles esperavam que a indústria estivesse mais desenvolvida pelo fato de estar em constante aprendizado, buscando conhecimentos e informações em diversas áreas para melhorar o desempenho da indústria no geral. O primeiro passo que a indústria irá realizar é reunir-se com as lideranças e desenvolver planos de ações que que melhorem os indicadores das práticas com pior desempenho.

O entendimento sobre as práticas da Quarta Revolução Industrial, também chamada de Indústria 4.0, é importante para o desenvolvimento das empresas e do país. Isso porque o conhecimento e o planejamento do que está ocorrendo nos dias atuais e as previsões do futuro contribuem para a preparação e a evolução das empresas perante o mercado consumidor.

A proposta do modelo de multicritério ELECTRE II no âmbito industrial é de fato desafiador devido a constante rotina de tomada de decisões, aos inúmeros processos produtivos, as atividades executadas dentro da indústria, os diferentes pensamentos e a visão dos funcionários. Além disso, um outro fator que influencia constantemente nas tomadas de decisões são as incertezas dos elementos que compõem o ambiente externo, como: política, economia, cultura, clientes, fornecedores, tecnologias, clima, entre outros.

Apesar das dificuldades, a presente pesquisa apresentou um resultado eficiente e funcional, contribuindo para o meio acadêmico, profissional e industrial. Espera-se,

que com ajustes, esse método possa ser aplicado em demais indústrias de outros ramos e portes diferentes, em países em processo de desenvolvimento, como o Brasil, ou em países considerados desenvolvidos.

### 5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Pensando em expandir o entendimento sobre os resultados que foram apresentados nesta pesquisa, propõe-se algumas contribuições que podem ser utilizadas na elaboração de trabalhos futuros:

- I. Após os resultados obtidos pelo ELECTRE II, a utilização da ferramenta de *roadmapping* na indústria pode auxiliar as indústrias na elaboração do roteiro para a melhoria das práticas da Indústria 4.0.
- II. Aplicação do modelo proposto em outras indústrias do ramo moveleiro para obter um comparativo, levando em consideração o porte, o segmento do ramo moveleiro e o período de tempo no mercado.
- III. Realizar um comparativo com outros gestores da indústria.

## REFERÊNCIAS

ABDALLA, F. A.; SAMPAIO, A. C. F. Os novos princípios e conceitos inovadores da Economia Circular. **Entorno Geográfico**, n. 15, p. 82, 2018.

ACETO, G.; PERSICO, V.; PESCAPÉ, A. A Survey on Information and Communication Technologies for Industry 4.0: State-of-the-Art, Taxonomies, Perspectives, and Challenges. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, v. 21, n. 4, p. 3467–3501, 2019.

AGOSTINI, L.; FILIPPINI, R. Organizational and managerial challenges in the path toward Industry 4.0. **European Journal of Innovation Management**, v. 22, n. 3, p. 406–421, 2019.

ALMADA-LOBO, F. The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). **Journal of Innovation Management**, v. 3, n. 4, p. 16–21, 2016.

ANTUNES, J. **Sistemas de produção: conceitos e práticas para projetos e gestão da produção enxuta**. [s.l: s.n.].

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. Understanding the Internet of Things : definition , potentials , and societal role of a fast evolving paradigm. n. October 2017, 2016.

AZEVEDO, M. T. DE. **Transformação digital na indústria: indústria 4.0 e a rede de água inteligente no Brasil**. [s.l.] Novas Edições Acadêmicas, 2017.

BALASINGHAM, K. Industry 4.0: Securing the Future for German Manufacturing Companies. **School of Management and Governance Business Administration**, v. 11, n. 2, p. 15, 2016.

BASSETO, A. L. C. Modelo De Maturidade Para a Análise Das Indústrias. p. 185, 2019.

BECKER, J.; KNACKSTEDT, R.; PÖPPELBUSS, J. Developing Maturity Models for IT Management. **Business & Information Systems Engineering**, v. 1, n. 3, p. 213–222, 2009.

BIRASNAV, M. Knowledge management and organizational performance in the service industry: The role of transformational leadership beyond the effects of transactional leadership. **Journal of Business Research**, v. 67, n. 8, p. 1622–1629, 2014.

BRAINER, S. M. P. D. C. Setor moveleiro: aspectos gerais e tendências no brasil e na área de atuação do bnb. **Etene**, p. 1–22, 2018.

BRUNS, T.; STALKER, G. M. The management of innovation. p. 120–122, 1961.

CACHAY, J.; ABELE, E. Developing competencies for continuous improvement processes on the shop floor through learning factories - Conceptual design and empirical validation. **Procedia CIRP**, v. 3, n. 1, p. 638–643, 2012.

CAMPOS, V. R. Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento. p. 175, 2011.

CARBONE, V.; ROUQUET, A.; ROUSSAT, C. “Carried away by the crowd”: what types of logistics for collaborative consumption? **Revue Francaise de Gestion**, v. 258, n. 5, p. 105–122, 2016.

CARDOSO, J.; VOIGT, K.; WINKLER, M. Service engineering for the internet of services. **Lecture Notes in Business Information Processing**, v. 19, p. 15–27, 2009.

CAROLIS, A. DE et al. Maturity Models and tools for enabling smart manufacturing systems: Comparison and reflections for future developments. **IFIP Advances in Information and Communication Technology**, v. 517, p. 23–35, 2017.

CAUCHICK MIGUEL, P. A. et al. Capítulo 9 – Processos: Uma Abordagem da Engenharia para a Gestão de Operações. **Metodologia De Pesquisa Em Engenharia De Produção**, p. 199–216, 2012.

CHAPARRO-PELÁEZ, J. et al. The digital transformation of the retail electricity market in Spain. **Energies**, v. 13, n. 8, 2020.

CHARRO, A.; SCHAEFER, D. Cloud Manufacturing as a new type of Product-Service System. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 31, n. 10, p. 1018–1033, 2018.

CHIAPPETTA JABBOUR, C. J. et al. First-mover firms in the transition towards the sharing economy in metallic natural resource-intensive industries: Implications for the circular economy and emerging industry 4.0 technologies. **Resources Policy**, v. 66, n. September 2019, p. 101596, 2020.

CORNELL UNIVERSITY, INSEAD and WIPO. Global Innovation Index: Energizing the World with Innovation. [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em: <<http://www.wipo.int/publications/es/details.jsp?id=4330>>. Acesso em: 30 agot. 2020.

DANIELSSON, O. et al. Assessing Instructions in Augmented Reality for Human-robot Collaborative Assembly by Using Demonstrators. **Procedia CIRP**, v. 63, p. 89–94, 2017.

DEPARTAMENTO DE SEGURANÇA INTERNA (DHS). **NoPrática recomendada: Melhorando a segurança cibernética do sistema de controle industrial com estratégias de defesa em profundidad**. Disponível em: <[https://ics-cert.us-cert.gov/sites/default/files/recommened\\_practices/NCCIC\\_ICS-CERT\\_Defense\\_in\\_Depth\\_2016\\_S508C.pdf](https://ics-cert.us-cert.gov/sites/default/files/recommened_practices/NCCIC_ICS-CERT_Defense_in_Depth_2016_S508C.pdf)>. Acesso em: 13 dez. 2019.

DEPEC-BRADESCO. **Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos. Indústria**

## de Móveis.

ELLRAM, L. M.; SIFERD, S. P. Compras- a pedra angular do conceito de custo total de propriedade.pdf. **Jornal Of Business Logistic**, v. 14, 1993.

ENSSLIN, L. ET AL. ProKnow-C, Knowledge development processconstructivist. Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI. **Brasil**, v. 10, n. 4, p. 2015, 2010.

EROL, S. et al. Tangible Industry 4.0: A Scenario-Based Approach to Learning for the Future of Production. **Procedia CIRP**, v. 54, p. 13–18, 2016.

EROL, S.; SCHUMACHER, A.; SIHN, W. Strategic guidance towards Industry 4.0 – a three-stage process model. **Coma**, n. January, p. 495–501, 2016.

FAN, X.; LI, Z.; ZHOU, L. Literature review on Big Data and Its Application Fields. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1176, n. 4, 2019.

FARERI, S. et al. Estimating Industry 4.0 impact on job profiles and skills using text mining. **Computers in Industry**, v. 118, n. June, p. 0–19, 2020.

FRAGA-LAMAS, P. et al. A Review on Industrial Augmented Reality Systems for the Industry 4.0 Shipyard. **IEEE Access**, v. 6, p. 13358–13375, 2018.

GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B. Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing. **Emerald Group Publishing Limited**, 2010.

GIL, A. C. (ORG). **Delineamento da Pesquisa**. [s.l: s.n.]. v. 264

GLIGOR, David M.; HOLCOMB, Mary C. **Understanding the role of logistics capabilities in achieving supply chain agility: a systematic literature review**. Supply Chain Management: An International Journal, v. 17, n. 4, p. 438–453, 2012. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/13598541211246594>>. Acesso em: 20 agot. 2020.

GÖLZER, P.; FRITZSCHE, A. Data-driven operations management: organisational implications of the digital transformation in industrial practice. **Production Planning and Control**, v. 28, n. 16, p. 1332–1343, 2017.

GOMES, L. F. A. **Teoria da Decisão**. [s.l.] Thomson Learning. Coleção debates em Administração, 2007.

GOMES, L. F. A. M.; GONZÁLEZ, M.; CARIGNANO, C. A. **Tomada de decisões em cenários complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão**. [s.l.] Thomson, 2004.

GRAGLIA, M. A. V. **As novas tecnologias e os mecanismos de impacto no trabalho**. [s.l.] PUC-SP, 2018.

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

HUXTABLE, J.; SCHAEFER, D. On Servitization of the Manufacturing Industry in the UK. **Procedia CIRP**, v. 52, n. 2016, p. 46–51, 2016.

INSTITUTO DE ESTUDOS PAA O DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA (IEDI). Indústria 4.0: **A Política Industrial da Alemanha para o futuro**. Disponível em: <[https://iedi.org.br/cartas/carta\\_iedi\\_n\\_807.html#:~:text=A%20Ind%C3%BAstria%204.0%20%C3%A9%20uma,promete%20revolucionar%20a%20produ%C3%A7%C3%A3o%20industrial.l](https://iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_807.html#:~:text=A%20Ind%C3%BAstria%204.0%20%C3%A9%20uma,promete%20revolucionar%20a%20produ%C3%A7%C3%A3o%20industrial.l)>. Acesso em: 20 agot. 2020.

JIANG, J. R. An improved Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0 smart factories. **Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Applied System Innovation: Applied System Innovation for Modern Technology, ICASI 2017**, v. 10, n. 300, p. 918–920, 2017.

KADEMETEME, E.; TWINOMURINZI, H. The ineffectiveness of technology adoption models in the 4IR era: A case of SMEs in South Africa. **2019 Open Innovations Conference, OI 2019**, p. 252–261, 2019.

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

KANJI, G. K. Total quality management: The second industrial revolution. **Total Quality Management**, v. 1, n. 1, p. 3–12, 1990.

KIESEBERG, PETER; WEIPPL, E. **Security challenges in cyber-physical production systems**. (International Conference on Software Quality, Ed.)Springer, Cham: 2018

KLEER, R.; PILLER, F. T. Local manufacturing and structural shifts in competition: Market dynamics of additive manufacturing. **International Journal of Production Economics**, v. 216, n. September 2018, p. 23–34, 2019.

KUBLER, S. et al. **Technological theory of cloud manufacturing**. Studies in Computational Intelligence. **Anais...2016**

LANDSCHEIDT, S.; KANS, M. Method for Assessing the Total Cost of Ownership of Industrial Robots. **Procedia CIRP**, v. 57, p. 746–751, 2016.

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

LIMA, T. C. S. DE; MIOTO, R. C. T. Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e

trabalhos científicos. **Revista Katálysis**, v. 10, n. especial-Pesquisa em Serviço Social, p. 37–45, 2007.

MARQUES, M. et al. Decentralized decision support for intelligent manufacturing in Industry 4.0. **Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments**, v. 9, n. 3, p. 299–313, 2017.

MAZAK, A.; HUEMER, C. HoVer: A modeling framework for horizontal and vertical integration. **Proceeding - 2015 IEEE International Conference on Industrial Informatics, INDIN 2015**, p. 1642–1647, 2015.

MAZALI, T. From industry 4.0 to society 4.0, there and back. **AI and Society**, v. 33, n. 3, p. 405–411, 2018.

MEIER, M. et al. Unlocking innovation in the sport industry through additive manufacturing. **Business Process Management Journal**, v. 25, n. 3, p. 456–475, 2019.

MELLO, I. F. DE S. **ECONOMIA COMPARTILHADA : A EXPERIÊNCIA E O IMPACTO DO AIRBNB ECONOMIA COMPARTILHADA : A EXPERIÊNCIA E**. [s.l.] UFRJ, 2018.

MOUSSEAU, V.; SLOWINSKI, R.; ZIELNIEWICZ, P. A user-oriented implementation of the ELECTRE-TRI method integrating preference elicitation support. **Computers and Operations Research**, v. 27, n. 7–8, p. 757–777, 2000.

MRUGALSKA, B.; WYRWICKA, M. K. Towards Lean Production in Industry 4.0. **Procedia Engineering**, v. 182, p. 466–473, 2017.

MÜCELDILI, B.; TURAN, H.; ERDIL, O. The Influence of Authentic Leadership on Creativity and Innovativeness. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 99, p. 673–681, 2013.

NOSSACK, A. F. Á. Panorama da produção de mobiliário residencial em madeira no Brasil. p. 231, 2014.

OLSON, D. L. Decision aids for selection problems. **Journal of the Operational Research Society**, v. 48, n. 5, p. 541–542, 1997.

PEREIRA, A. C.; ROMERO, F. A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. **Procedia Manufacturing**, v. 13, p. 1206–1214, 2017.

PÉREZ-LARA, Magdiel et al. **Vertical and horizontal integration systems in Industry 4.0**. Wireless Networks, p. 1-9, 2018.

PICCAROZZI, M.; AQUILANI, B.; GATTI, C. Industry 4.0 in Management Studies: A Systematic Literature Review. **SUSTAINABILITY**, v. 10, n. 10, 2018.

POLENGHI, A.; FUMAGALLI, L.; RODA, I. Role of simulation in industrial engineering: focus on manufacturing systems. **IFAC-PapersOnLine**, v. 51, n. 11, p.

496–501, 2018.

PORTER, M. E.; HEPPELMANN, J. E. How smart, connected products are transforming companies. **Harvard Business Review**, v. 93, n. 10, p. 96–114, 2015.

PUPO, F; SIMÃO, E. 'Indústria 4.0' terá crédito de R\$ 8,6 bi. Disponível em: <<https://www.valor.com.br/brasil/5383707/industria-40-tera-credito-de-r-86-bi>>. Acesso em: 29 agot. 2020.

QIN, Y. et al. When things matter: A survey on data-centric internet of things. **Journal of Network and Computer Applications**, v. 64, p. 137–153, 2016.

RIFKIN, J. The Third Industrial Revolution: How the internet, green electricity, and 3-D printing are ushering in a sustainable era of distributed capitalism. **World Financial Review**, p. 1–8, 2012.

ROBLEK, V.; MEŠKO, M.; KRAPEŽ, A. A Complex View of Industry 4.0. **SAGE Open**, v. 6, n. 2, 2016.

ROY, B. ELECTRE III: Un algorithme de classements fondé sur une représentation floue des préférences en présence de critères multiples. **Cahiers du CERO**, v. 20, n. 1, p. 3–24, 1978.

ROY, B. **Multicriteria methodology for decision aiding**. Dordrecht: Kluwer Academic, [s.n.].

ROY, B. ; BERTIER, P. La méthode ELECTRE II. p. 142, 1973.

ROY, B. ; HUGONNARD, J. C. Ranking of suburban line extension projects on the Paris metro system by multicriteria method. **Transpn. Res.** v.16, n.4, p. 301–312, 1982.

ROY, B.; SKALKA, J. ELECTRE IS: aspects méthodologiques et guide d'utilisation, Université. **Paris-Dauphine, Document du LAMSADE**, v. 30, 1985.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of mathematical psychology**, v. 5, n. 3, p. 234–281, 1977.

SANDERS, A.; ELANGESWARAN, C.; WULFSBERG, J. Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 9, n. 3, p. 811–833, 2016.

SCHMIDT, R. et al. Industry 4.0 - Potentials for Creating Smart Products: Empirical Research Results. **researchgate**, 2015.

SCHNIEDERJANS, D. G.; CURADO, C.; KHALAJHEDAYATI, M. Supply chain digitisation trends: An integration of knowledge management. **International Journal of Production Economics**, v. 220, n. June 2019, p. 107439, 2020.

SCHUH, G. et al. Collaboration mechanisms to increase productivity in the context of industrie 4.0. **Procedia CIRP**, v. 19, n. C, p. 51–56, 2014.

SHAMIM, S. et al. Management approaches for Industry 4.0: A human resource management perspective. **2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2016**, n. October 2017, p. 5309–5316, 2016.

SILVA, K. DE F. F. **A prática da mentoria no desenvolvimento de pessoas nas organizações**. [s.l: s.n.].

SRDJEVIC, B. **Combining different prioritization methods in the analytic hierarchy process synthesis**. *Computers & Operations Research*, v. 32, 1897-1919, 2005.

STEIN, W. E.; MIZZI, P. J. **The harmonic consistency index for the analytic hierarchy process**. *European Journal of Operational Research*, 177, 488-497, 2007.

SUBTIL, F. Tecnologia, economia e política: o telégrafo como antecessor da Internet. **Estudos em Comunicação**, v. nº 15 Esp, p. 25–40, 2014.

SURI, K. et al. Model-based Development of Modular Complex Systems for Accomplishing System Integration for Industry 4 . 0. n. *Modelsward*, p. 487–495, 2017.

TAMÁS, P.; ILLÉS, B.; DOBOS, P. Waste reduction possibilities for manufacturing systems in the industry 4.0. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 161, n. 1, 2016.

THEMSELVES, W. T. S. C. F. (2018). All revolutions are equal; but some are more equal than others. *Journal of Futures Studies*, 23(2), 1-12.

THOBEN, K. D.; WIESNER, S. A.; WUEST, T. “Industrie 4.0” and smart manufacturing-a review of research issues and application examples. *International Journal of Automation Technology*, v. 11, n. 1, p. 4-16. 2017.

TROJAN, F. Modelos Multicritério Para Apoiar Decisões Na Gestão Da Manutenção De Redes De Distribuição De água Para a Redução De Custos E Perdas. **Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção**, p. 117, 2012.

TUNZELMANN, N. V. Historical coevolution of governance and technology in the industrial revolutions. **Structural Change and Economic Dynamics**, v. 14, p. 365–384, 2003.

VILLARS, R. L.; OLOFSON, C. W. WHITE P APER Big Data: What It Is and Why You Should Care INFORMATION EVERYWHE RE, BUT WHERE’S THE KNOWLEDGE. 2014.

VINCKE, P. **Multicriteria Decision-Aid**. [s.l.] John Wiley & Sons, 1992.

WANG, L.; TÖRNGREN, M.; ONORI, M. Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 37, p. 517–527, 2015.

WANG, Y.; ANOKHIN, O.; ANDERL, R. Concept and use Case Driven Approach for Mapping IT Security Requirements on System Assets and Processes in Industrie 4.0. **Procedia CIRP**, v. 63, p. 207–212, 2017.

WATERMAN, N. A.; DICKENS, P. Rapid product development in the USA, Europe and Japan. **World Class Design to Manufacture**, v. 1, n. 3, p. 27–36, 1994.

WOOD, T. Fordismo, Toyotismo e Volvismo: os caminhos da indústria em busca do tempo perdido. **Revista de Administração de Empresas**, v. 32, n. 4, p. 6–18, 1992.

XU, H. et al. A Survey on Industrial Internet of Things: A Cyber-Physical Systems Perspective. **IEEE Access**, v. 6, p. 78238–78259, 2018.

YU, W. Aide multicritère à la décision dans le cadre de la problématique du tri: Concepts, méthodes et applications. **PhD thesis, Université Paris-Dauphine**, 1992.

ZUEHLKE, D. SmartFactory-Towards a factory-of-things. **Annual Reviews in Control**, v. 34, n. 1, p. 129–138, 2010.

**APÊNDICE A – Matriz de Avaliação do Método ELECTRE II**

Alternativas	Dimensão/Critério. ORGANIZACIONAL	ÍNDICE DE DESEMPENHO				
	Prática	Ideal	Avaliado	Ideal	Somatória do Avaliado	Diferença
<b>1</b>	<b>CULTURA</b>					
1.1	Mudança	90%	20%	90%	47%	<b>0,43</b>
1.2	Resistência para mudança por parte dos funcionários	90%	40%			
1.3	Resistência para mudança por parte dos gestores	90%	80%			
<b>2</b>	<b>AMBIENTE DE TRABALHO</b>					
2.1	Ambiente flexível	90%	40%	90%	45%	<b>0,45</b>
2.2	Trabalho em equipe	90%	60%			
2.3	Participação de funcionários nas tomadas de decisões	90%	40%			
2.4	Ambiente que influencia no desenvolvimento e aprendizado dos funcionários	90%	40%			
<b>3</b>	<b>LIDERANÇA</b>					
3.1	Transformacional	90%	40%	90%	50%	<b>0,40</b>
3.2	Autêntica	90%	60%			
3.3	Transacional	90%	60%			
3.4	Gestores que não possuem perfil transformacional, autêntico e transacional	90%	40%			
<b>4</b>	<b>RECURSOS HUMANOS</b>					
4.1	Treinamento	90%	40%	90%	43%	<b>0,47</b>
4.2	Pessoal	90%	20%			
4.3	Compensação por funcionário	90%	20%			
4.4	Compensação por função	90%	20%			
4.5	Avaliação de desempenho	90%	80%			
4.6	Design do trabalho	90%	80%			
<b>5</b>	<b>DESENVOLVIMENTO PESSOAL E PROFISSIONAL</b>					
5.1	Treinamento	90%	40%	90%	40%	<b>0,50</b>
5.2	Mentoria/coaching	90%	40%			
5.3	Simulação de processos de digitação	90%	40%			
<b>6</b>	<b>HABILIDADES PROFISSIONAIS</b>					
6.1	Habilidades Profissionais	90%	60%	90%	40%	<b>0,50</b>
6.2	Treinamentos	90%	40%			
6.3	Técnica Insight nos gestores	90%	20%			
<b>7</b>	<b>REDUÇÃO DOS NÍVEIS HIERÁRQUICOS</b>					
7.1	Estrutura matricial	90%	20%	90%	21%	<b>0,69</b>
7.2	Equipes de projeto	90%	25%			
7.3	Hierarquia plena	90%	20%			
7.4	Descentralização	90%	20%			
<b>8</b>	<b>APRENDIZAGEM CONTÍNUA</b>					
8.1	Eventos, palestras, cursos e atividades afins, que vão de encontro aos princípios da indústria	90%	80%	90%	33%	<b>0,57</b>
8.2	Eventos, palestras, cursos e atividades afins, que os funcionários participaram	90%	20%			
8.3	Experiência dos funcionários	90%	40%			
8.4	Estudos	90%	20%			
8.5	Experiência dos gestores	90%	20%			
8.6	Faixa Etária abaixo de 18 anos	90%	20%			
8.7	Faixa Etária entre 19 a 29 anos	90%	60%			
8.8	Faixa Etária entre 30 a 49 anos	90%	20%			
8.9	Faixa Etária acima de 50anos	90%	20%			
<b>9</b>	<b>DESEMPREGO TECNOLÓGICO</b>					
9.1	Cargos que podem ser remodeladas	90%	20%	90%	23%	<b>0,67</b>
9.2	Cargos que foram remodeladas	90%	20%			
9.3	Funções que podem ser remodeladas	90%	20%			
9.4	Funções que foram remodeladas	90%	20%			
9.5	Treinamentos	90%	40%			
9.6	Empregos	90%	20%			
<b>10</b>	<b>CONSCIENTIZAÇÃO DAS TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS</b>					
10.1	Estratégias	90%	20%	90%	36%	<b>0,54</b>
10.2	Implementação de tecnologias	90%	43%			
10.3	Ficha de descrição de funcionários	90%	44%			

Alternativas	Dimensão/Critério. GERENCIAL	ÍNDICE DE DESEMPENHO				
	Prática	Ideal	Avaliado	Somatória do Ideal	Somatória do Avaliado	Diferença
<b>11</b>	<b>ESTRUTURA ORGANIZACIONAL</b>					
11.1	Planejamento estratégico	90%	80%	90%	49%	<b>0,41</b>
11.2	Projetos voltados a Indústria 4.0	90%	20%			
11.3	Planejamento de projetos	90%	47%			
11.4	Projetos	90%	48%			
11.5	Roteio de projetos	90%	49%			
<b>12</b>	<b>NOVOS MODELOS DE NEGÓCIO</b>					
12.1	Economia circular	80%	20%	80%	20%	<b>0,60</b>
12.2	Sustentabilidade	80%	20%			
<b>13</b>	<b>NOVOS CANAIS DE VENDAS</b>					
13.1	Uso de plataformas digitais	80%	60%	80%	60%	<b>0,20</b>
13.2	Produtos	80%	60%			
<b>14</b>	<b>CLIENTES</b>					
14.1	Projetos	90%	60%	90%	44%	<b>0,46</b>
14.2	Pedido dos clientes	90%	20%			
14.3	Pedidos com restrição realizados	90%	20%			
14.4	Pedidos com restrição rejeitados	9%	20%			
14.5	Comunicação com o cliente	90%	100%			
<b>15</b>	<b>PRODUÇÃO ENXUTA</b>					
15.1	Feedbacks do fornecedor	80%	40%	80%	53%	<b>0,27</b>
15.2	Produção puxada	80%	80%			
15.3	Manutenção preventiva	80%	20%			
15.4	Manutenção corretiva	80%	80%			
15.5	Controle estatístico do processo	80%	80%			
15.6	Envolvimento dos funcionários	80%	20%			
<b>16</b>	<b>Prática 6. PROCESSO PRODUTIVO</b>					
16.1	Produção em massa	90%	80%	90%	60%	<b>0,30</b>
16.2	Produção personalizada	90%	20%			
16.3	Produção flexível	90%	80%			
16.4	Sistema just-in-time na produção	90%	60%			
16.5	Sistema just-in-sequence na produção	90%	60%			
<b>17</b>	<b>Prática 7. FLUXOS DE MATERIAIS</b>					
17.1	Relação com fornecedores	90%	80%	90%	80%	<b>0,10</b>
17.2	Pedido de compra	90%	80%			
17.3	Sistemas	90%	80%			
17.4	Entrega	90%	80%			
<b>18</b>	<b>FLUXO DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO</b>					
18.1	Dispositivos móveis	90%	20%	90%	20%	<b>0,70</b>
18.2	Acesso à internet	90%	20%			
18.3	Comunicação entre Máquinas	90%	20%			
<b>19</b>	<b>INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS</b>					
19.1	Integração de sistemas	90%	40%	90%	47%	<b>0,43</b>
19.2	Ambiente externo	90%	50%			
19.3	Ambiente interno	90%	50%			
<b>20</b>	<b>INFRAESTRUTURA DE TIC</b>					
20.1	Funcionários envolvidos com o setor de TI	90%	20%	90%	40%	<b>0,50</b>
20.2	Funcionário qualificados	90%	60%			
20.3	Setor de TI	90%	20%			
20.4	Investimento em TI	90%	20%			
20.5	Acesso à internet	90%	80%			

Alternativas	Dimensão/Critério. TECNOLÓGICO	ÍNDICE DE DESEMPENHO				
	Prática	Ideal	Avaliado	Somatória do Ideal	Somatória do Avaliado	Diferença
<b>21</b>	<b>SISTEMAS CYBER-FÍSICOS (CPS)</b>					
21.1	Integração de setores	90%	60%	90%	40%	<b>0,50</b>
21.2	Integração de máquinas	90%	20%			
21.3	Investimento em sistemas	90%	40%			
<b>22</b>	<b>INTERNET DAS COISAS (IoT)</b>					
22.1	Sistemas	90%	40%	90%	30%	<b>0,60</b>
22.2	Objetos inteligentes	90%	20%			
<b>23</b>	<b>INTERNET DE SERVIÇOS (IoS)</b>					
23.1	Produtos	90%	40%	90%	47%	<b>0,43</b>
23.2	Comercialização de serviços	90%	20%			
23.3	Comércio eletrônico	90%	80%			
<b>24</b>	<b>BIG DATA</b>					
24.1	Coleta de dados por setor	100%	40%	100%	47%	<b>0,53</b>
24.2	Coleta de dados por máquina	100%	60%			
24.3	Coleta de dados por funcionário	100%	20%			
24.4	Sistema de coleta	100%	20%			
24.5	Análise dos dados	100%	60%			
24.6	Utilização dos dados	100%	80%			
<b>25</b>	<b>ROBÓTICA</b>					
25.1	Automação	90%	40%	90%	44%	<b>0,46</b>
25.2	Sem automação	90%	60%			
25.3	Interação entre homem-máquina	90%	20%			
25.4	Processo Manual	90%	80%			
25.5	Investimento em automação	90%	20%			
<b>26</b>	<b>SIMULAÇÃO</b>					
26.1	Desenvolvimento de sistemas	100%	20%	100%	45%	<b>0,55</b>
26.2	Decisões	100%	40%			
26.3	Planejamento de manutenção	100%	40%			
26.4	Planejamento de produção	100%	80%			
<b>27</b>	<b>SEGURANÇA CIBERNÉTICA</b>					
27.1	Proteção de dados	100%	40%	100%	50%	<b>0,50</b>
27.2	Avaliação contínua	100%	40%			
27.3	Mão de obra qualificada	100%	70%			
<b>28</b>	<b>COMPUTAÇÃO EM NUVEM</b>					
28.1	Armazenamento de dados	100%	70%	100%	70%	<b>0,30</b>
<b>29</b>	<b>MANUFATURA ADITIVA (AM)</b>					
29.1	Impressora 3D	80%	20%	80%	20%	<b>0,60</b>
29.2	Investimento na tecnologia manufatura aditiva	80%	20%			
<b>30</b>	<b>REALIDADE AUMENTADA</b>					
30.1	Tecnologia da realidade aumentada	80%	20%	80%	20%	<b>0,60</b>
30.2	Investimento na tecnologia realidade aumentada	80%	20%			