

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

**MARCELA MARÇAL ALVES PINTO MICK**

**MODELO DE MATURIDADE PARA DETERMINAR A INFLUÊNCIA DA  
TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA NA INDÚSTRIA 4.0**

**TESE**

**PONTA GROSSA**

**2021**

**MARCELA MARÇAL ALVES PINTO MICK**

**MODELO DE MATURIDADE PARA DETERMINAR A INFLUÊNCIA DA  
TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA NA INDÚSTRIA 4.0**

**Maturity Model To Determine The Influence Of Technology Transfer On  
Industry 4.0**

Tese apresentada como requisito para obtenção do título de Doutora em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: João Luiz Kovaleski

Coorientador: Rui Tadashi Yoshino

**PONTA GROSSA**

**2021**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



**Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Ponta Grossa**



MARCELA MARCAL ALVES PINTO MICK

**MODELO DE MATURIDADE PARA DETERMINAR A INFLUÊNCIA DA TRANSFERÊNCIA DE  
TECNOLOGIA NA INDÚSTRIA 4.0**

Trabalho de pesquisa de doutorado apresentado como requisito para obtenção do título de Doutora Em Engenharia De Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Industrial.

Data de aprovação: 25 de Junho de 2021

Prof Joao Luiz Kovaleski, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Daiane Maria De Genaro Chiroli, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Gilberto Zammar, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Miguel Archanjo De Freitas Junior, Doutorado - Universidade Estadual de Ponta Grossa (Uepg)

Prof.a Regina Negri Pagani, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Rui Tadashi Yoshino, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Ubirata Tortato, Doutorado - Pontifícia Universidade Católica do Paraná (Pucpr)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 28/06/2021.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais Marcelo e Telma, que me deram o auxílio necessário para alcançar sempre meus objetivos, com amor, carinho e suporte.

Agradeço também ao meu marido Rafael, que em todos os momentos esteve ao meu lado, sempre foi compreensivo e amoroso para que eu pudesse cumprir com minhas obrigações e realizar aquilo que me era proposto.

À minha filha Maria Luísa, por ser minha fonte de inspiração para poder chegar até aqui.

À minha irmã Eduarda, por todo o auxílio, por ser minha companheira e me dar forças em todos os momentos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. João Luiz Kovaleski, pelo fundamental suporte para o desenvolvimento do trabalho, e que com sua experiência e conhecimento me deu a oportunidade de ser sua orientada.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Rui Tadashi Yoshino, pelo apoio incondicional na execução deste trabalho, e por sempre me apoiar e incentivar durante todos esses anos de orientação.

À professora Dra. Regina Negri Pagani, por todo auxílio, contribuição e apoio durante meu doutorado.

Aos meus professores, pelo conhecimento e contribuições, que possibilitaram a conclusão desse estudo.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pelos recursos, estrutura e excelência.

A todos que de alguma forma contribuíram, seja com disponibilidade de tempo ou uma palavra de incentivo.

E principalmente a Deus que me permitiu sempre ter disposição e saúde para acreditar que todos os meus sonhos e desejos são possíveis de serem alcançados.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior—Brasil (CAPES) - número de financiamento 001, pelo apoio para a realização dessa pesquisa.

## RESUMO

A Indústria 4.0 (I4.0) está cada vez mais presente no meio acadêmico e industrial, porém, ainda existem barreiras e dificuldades para sua implementação. A Transferência de Tecnologia (TT) tem um papel relevante como facilitador no processo de transformação digital e está diretamente ligada à importância de aumentar a base de conhecimento nas tecnologias da I4.0. Neste sentido, esta tese objetivou desenvolver um modelo de maturidade de Indústria 4.0, onde a Transferência de Tecnologia influencia seu nível de maturidade, a fim de facilitar sua implementação. Para isso, primeiramente foi realizado um Framework Conceitual que apresenta a influência existente entre TT e I4.0, desenvolvido a partir de uma vasta revisão de literatura. Para comprovar esse framework, foi desenvolvido o Modelo de Maturidade I4.0-TT. Esse modelo foi realizado a partir do método multicritério DEMATEL, pois é baseado na influência entre os fatores (I4.0 e TT) e suas dimensões. A validação do modelo foi através da aplicação do mesmo em sete empresas situadas no Paraná. Os resultados mostraram que realmente existe uma influência mútua entre esses dois fatores. Ainda, foi possível identificar as dimensões influenciadoras e as dimensões influenciadas. Tendo esse conhecimento, foi possível traçar estratégias para as empresas elevarem o seu nível de maturidade de I4.0. Neste sentido, o Modelo de Maturidade I4.0-TT possibilitou confirmar que a Transferência de Tecnologia influencia a Indústria 4.0, e vice-versa. A TT pode ser vista como uma estratégia para que a implementação dos conceitos e tecnologias 4.0 ocorra com maior facilidade. Ainda, é uma ferramenta que pode ser utilizada nas organizações para poder analisar em qual estágio a empresa encontra-se, e o que é necessário para evoluir de nível.

**Palavras-chave:** Transferência de Tecnologia. Indústria 4.0. Modelo de Maturidade. Influência. DEMATEL. Framework Conceitual.

## ABSTRACT

Industry 4.0 (I4.0) is increasingly present in the academic and industrial environment, however, there are still barriers and difficulties for its implementation. Technology Transfer (TT) plays an important role as a facilitator in the digital transformation process and is directly linked to the importance of increasing the knowledge base in I4.0 technologies. In this sense, this thesis aimed to develop an Industry 4.0 maturity model, where Technology Transfer influences its maturity level, in order to facilitate its implementation. For this, firstly, a Conceptual Framework was carried out that presents the existing influence between TT and I4.0, developed from a vast literature review. To prove this framework, the I4.0-TT Maturity Model was developed. This model was performed using the DEMATEL multicriteria method, as it is based on the influence between the factors (I4.0 and TT) and their dimensions. The model was validated by applying it to seven companies located in Paraná. The results showed that there is really a mutual influence between these two factors. Still, it was possible to identify the influencing dimensions and the influenced dimensions. With this knowledge, it was possible to outline strategies for companies to raise their maturity level from I4.0. In this sense, the I4.0-TT Maturity Model made it possible to confirm that Technology Transfer influences Industry 4.0, and vice versa. TT can be seen as a strategy for the implementation of 4.0 concepts and technologies to occur more easily. Still, it is a tool that can be used in organizations to be able to analyze what stage the company is in, and what is necessary to evolve in level.

**Keywords:** Technology Transfer. Industry 4.0. Maturity Model. Influence. DEMATEL. Conceptual Framework.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Resultados da pesquisa .....	15
Figura 2 - Fluxograma da estrutura do trabalho .....	18
Figura 3 - A evolução da Indústria 1.0 para Indústria 4.0 .....	20
Figura 4 - Building Blocks da Indústria 4.0 .....	27
Figura 5 - Tecnologias dos Building Blocks .....	29
Figura 6 - Desenvolvimento de Tecnologias .....	40
Figura 7 - Conteúdo tecnológico da TT .....	45
Figura 8 - Transição das estruturas de hélice tripla para quádrupla .....	47
Figura 9 - Modelo de Maturidade de Qin e Liu (2016) .....	57
Figura 10 - Modelo de Maturidade de Ganzarain e Errasti (2016) .....	60
Figura 11 - Modelo de Maturidade de Gokalp <i>et al.</i> (2017) .....	61
Figura 12 - Modelo de Maturidade de Sjodin <i>et al.</i> (2018) .....	63
Figura 13 - Modelo de Maturidade de Schumacher <i>et al.</i> (2019) .....	64
Figura 14 - Modelo de Maturidade de Wagire <i>et al.</i> (2020) .....	67
Figura 15 - Modelo de Maturidade de Secundo <i>et al.</i> (2016) .....	71
Figura 16 - Modelo de Maturidade de Sinha <i>et al.</i> (2011) .....	72
Figura 17 - Modelo de Maturidade de Phusavat e Kess (2008) .....	73
Figura 18 - Níveis de KTT de Sung e Gibson (2000) .....	74
Figura 19 - Relações entre Indústria 4.0 e Transferência de Tecnologia .....	78
Figura 20 - Framework Conceitual TT-I4.0 .....	92
Figura 21 - Etapas do Methodi Ordinatio .....	94
Figura 22 - Etapas para a elaboração do Modelo de Maturidade I4.0-TT .....	96
Figura 23 - Esquema de influência entre as dimensões de TT e BB4.0 .....	103
Figura 24 - Modelo de Maturidade I4.0-TT .....	109
Figura 25 - Triângulo de Sábado .....	111
Figura 26 - Dimensões influenciadoras e influenciadas, e envolvimento total que cada dimensão possui no conjunto .....	117
Figura 27 - Influências mais relevantes do conjunto .....	119
Figura 28 - Nível de Maturidade I4.0-TT para as empresas estudadas .....	120
Figura 29 - Caminho ideal para atingir a melhoria contínua na I4.0 .....	122

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Sinônimos de Indústria 4.0 .....	21
Quadro 2 - Barreiras da Indústria 4.0 .....	38
Quadro 3 - Mecanismos de Transferência de Tecnologia.....	48
Quadro 4 - Barreiras da Transferência de Tecnologia .....	52
Quadro 5 - Dimensões e itens de maturidade do modelo de Schumacher <i>et al.</i> (2016) .....	58
Quadro 6 - Modelo de Maturidade de Sjodin <i>et al.</i> (2018).....	62
Quadro 7 - Variáveis do Modelo de Maturidade de Arif <i>et al.</i> (2017) .....	69
Quadro 8 - Modelos de Maturidade de I4.0 .....	75
Quadro 9 - Modelos de Maturidade de KTT .....	77
Quadro 10 - Objetivos de cada artigo.....	85
Quadro 11 - Relação entre I4.0 e TT apresentada em cada artigo.....	89
Quadro 12 - Níveis do modelo de maturidade.....	97
Quadro 13 - Dimensões do modelo de maturidade.....	98
Quadro 14 - Componentes do modelo de maturidade .....	99
Quadro 15 - Níveis de maturidade da Indústria 4.0.....	108
Quadro 16 - Segmento industrial das empresas .....	111
Quadro 17 - Ações sugeridas para cada dimensão da Empresa A.....	124
Quadro 18 - Ações sugeridas para cada dimensão da Empresa B.....	126
Quadro 19 - Ações sugeridas para cada dimensão da Empresa C .....	129
Quadro 20 - Ações sugeridas para cada dimensão da Empresa D .....	131
Quadro 21 - Ações sugeridas para cada dimensão da Empresa E.....	133
Quadro 22 - Ações sugeridas para cada dimensão da Empresa F.....	135
Quadro 23 - Ações sugeridas para cada dimensão da Empresa G .....	137

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nível de influência entre todas as dimensões .....	113
Tabela 2 - Resultados encontrados a partir do método DEMATEL.....	114
Tabela 3 - Valores encontrados para cada fator e dimensão.....	115
Tabela 4 - Dimensões influenciadas e influenciadoras .....	117
Tabela 6 - Quantidade de artigos em cada grupo .....	183

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Níveis de maturidade das dimensões na Empresa A.....	123
Gráfico 2 - Níveis de maturidade das dimensões na Empresa B.....	126
Gráfico 3 - Níveis de maturidade das dimensões na Empresa C.....	128
Gráfico 4 - Níveis de maturidade das dimensões na Empresa D.....	130
Gráfico 5 - Níveis de maturidade das dimensões na Empresa E.....	132
Gráfico 6 - Níveis de maturidade das dimensões na Empresa F.....	134
Gráfico 7 - Níveis de maturidade das dimensões na Empresa G.....	137

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1 OBJETIVOS .....	13
1.1.1 Objetivo Geral .....	13
1.1.2 Objetivos Específicos .....	13
1.2 JUSTIFICATIVA .....	13
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	16
<b>2 INDÚSTRIA 4.0</b> .....	<b>19</b>
2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	19
2.2 TERMOS UTILIZADOS.....	21
2.2.1 Definições de Indústria 4.0 .....	22
2.3 CARACTERIZAÇÃO DA I4.0 .....	23
2.4 INTEGRAÇÃO DE PROCESSOS.....	25
2.5 BUILDING BLOCKS.....	26
2.5.1 <i>Cyber and Physical System</i> .....	29
2.5.2 <i>Cloud Computing</i> .....	30
2.5.3 <i>Industrial Internet of Things (IIoT)</i> .....	31
2.5.4 Realidade Aumentada (RA) .....	32
2.5.5 <i>Big Data Analytics</i> .....	32
2.5.6 <i>Cyber Security</i> .....	33
2.5.7 Robôs Autônomos .....	34
2.5.8 <i>Additive manufacturing / 3D Printing</i> .....	35
2.5.9 Simulações .....	36
2.6 IMPACTOS E BARREIRAS .....	37
<b>3. TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA</b> .....	<b>40</b>
3.1 DEFINIÇÕES DE TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA E CONHECIMENTO .....	41
3.2 O PROCESSO DE TT.....	42
3.3 INTERAÇÃO UNIVERSIDADE-INDÚSTRIA.....	45
3.4 CANAIS E MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA.....	48
3.5 BARREIRAS NA TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA .....	51
<b>4 MODELOS DE MATURIDADE</b> .....	<b>55</b>
4.1 MODELOS DE MATURIDADE DE I4.0 .....	56
4.2 MODELOS DE MATURIDADE DE TT .....	67
4.3 ANÁLISE DOS MODELOS DE MATURIDADE .....	74
<b>5 A TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA NA INDÚSTRIA 4.0</b> .....	<b>78</b>
5.1 FÁBRICAS DE ENSINO .....	79
5.2 INTERAÇÃO HOMEM-MÁQUINA .....	79
5.3 UNIVERSIDADE-INDÚSTRIA.....	80

5.4 TT PARA IMPLEMENTAÇÃO DE TECNOLOGIAS 4.0.....	81
5.5 TRANSFERÊNCIA DE CONHECIMENTO / GESTÃO DO CONHECIMENTO EM I4.0.....	82
5.6 TT NO CENÁRIO INDUSTRIAL 4.0.....	83
5.7 INOVAÇÃO / INOVAÇÃO ABERTA EM I4.0 .....	84
5.8 TRABALHOS ANTERIORES .....	85
5.9 A INFLUÊNCIA DA TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA NA INDÚSTRIA 4.0: FRAMEWORK CONCEITUAL .....	91
<b>6 METODOLOGIA.....</b>	<b>94</b>
6.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMATIZADA (RBS) .....	94
6.2 ELABORAÇÃO DO MODELO DE MATURIDADE I4.0-TT .....	95
6.2.1 Etapa 1: Caracterizar os níveis de maturidade do modelo .....	96
6.2.2 Etapa 2: Caracterizar as dimensões pertinentes à serem avaliadas .....	97
6.2.3 Etapa 3: Identificar os componentes de I4.0 e TT para compor o modelo... ..	98
6.2.4 Etapa 4: Proposição do instrumento de pesquisa .....	100
6.2.5 Etapa 5: Construção da base matemática para o modelo de maturidade .	102
6.2.6 Etapa 6: Construção da estrutura do Modelo de Maturidade I4.0-TT .....	107
<b>7 APLICAÇÃO DO MODELO DE MATURIDADE TT-I4.0.....</b>	<b>110</b>
7.1 APLICAÇÃO DOS QUESTIONÁRIOS .....	110
7.2.1 Primeira Parte .....	112
7.2.2 Segunda Parte .....	114
<b>8 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>116</b>
8.1 INFLUÊNCIA DAS DIMENSÕES.....	116
8.2 NÍVEL DE MATURIDADE I4.0-TT .....	120
8.3 DIAGNÓSTICO DAS EMPRESAS.....	121
8.3.1 Empresa A .....	123
8.3.2 Empresa B .....	125
8.3.3 Empresa C .....	128
8.3.4 Empresa D .....	130
8.3.5 Empresa E .....	132
8.3.6 Empresa F.....	134
8.3.7 Empresa G .....	136
8.4 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO .....	139
<b>9 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>141</b>
9.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	143
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>144</b>
<b>APÊNDICE A – ETAPAS DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMATIZADA (RBS) .....</b>	<b>175</b>
<b>APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO 1 .....</b>	<b>184</b>
<b>APÊNDICE C – Questionário 2.....</b>	<b>191</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A competição entre empresas manufatureiras tornou-se cada vez mais acirrada e dessa maneira, muitos países e organizações propuseram novos paradigmas de produção para integrar o processo de fabricação (KHAN; TUROWSKI, 2016). A Indústria 4.0 (I4.0) é um dos conceitos mais populares em áreas de manufatura avançada e tem sido considerada como uma direção futura (WEIGAND; PRAUSE, 2016). A Indústria 4.0 é a quarta revolução industrial que aplica os princípios de sistemas ciber-físicos, internet, tecnologias orientadas para o futuro e sistemas inteligentes, com paradigmas de interação homem-máquina (FU *et al.*, 2018).

De acordo com Stark (2004), o gerenciamento de um produto desde o início até o descarte tem valor estratégico para uma determinada empresa na economia em rede. Com fábricas e produtos inteligentes, mudanças ocorrerão na maneira como os produtos serão fabricados, impactando em vários setores do mercado.

Resumidamente, a Indústria 4.0 representa um enorme potencial em muitas áreas. Sua implementação gera impactos em toda a cadeia de valor, melhorando os processos de produção e engenharia, melhorando a qualidade dos produtos e serviços, otimizando o relacionamento entre clientes e organizações, trazendo novas oportunidades de negócios e benefícios econômicos, alterando os requisitos de educação, e transformando o ambiente de trabalho atual (PEREIRA; ROMERO, 2017).

Porém, para que o conceito de Indústria 4.0 seja aplicado nas organizações, surgem abordagens de processos, operações e atividades da área da Transferência de Tecnologia (TT) que devem ser analisadas.

A Transferência de Tecnologia é considerada um processo ativo em que a tecnologia é transferida entre duas entidades distintas, seja ela em forma de conhecimento, tecnologia ou produtos (AUTIO; LAMANMAN, 1995; AMESSE; COHENDET, 2001; BOZEMAN, 2000; CORMICAN; O'CONNOR, 2009, BOZEMAN *et al.*, 2015).

Segundo Zangiacomi *et al.* (2018), a adoção de abordagens para a TT tem um papel relevante como facilitador no processo de transformação digital e está diretamente ligada à importância de aumentar a base de conhecimento nas

tecnologias da I4.0.

A transformação na Indústria 4.0 impacta as estratégias, estrutura organizacional, processos operacionais e desenvolvimento tecnológico de uma empresa. Assim, é necessário que a alta administração apoie projetos e investimentos proativos, principalmente para lidar com processos complexos e promover a competitividade no mercado (LIN *et al.*, 2020). Um Modelo de Maturidade (MM) pode ser usado para avaliar o estado atual da organização, e definir suas estratégias para a implementação da Indústria 4.0. (GÖKALP *et al.*, 2017; AKDIL *et al.*, 2018; SCHUMACHER *et al.*, 2016). Nikkhou, Taghizadeh e Hajiyakhchali (2016) indicaram que a maturidade é uma ferramenta de orientação para corrigir e prevenir problemas e avaliar atributos organizacionais, incluindo forças, fraquezas e oportunidades.

Poucos são os trabalhos na literatura que relacionem Transferência de Tecnologia com Indústria 4.0. Diferentes direções e abordagens sobre esses dois temas foram encontrados. Gjeldum *et al.* (2016), Karre *et al.* (2017) e Posselt *et al.* (2016) apresentaram sobre a importância de Learning Factories para o aprendizado de Indústria 4.0. Outros autores estudaram a interface homem-máquina, e a maneira como as empresas relacionam as tecnologias 4.0 com a gestão de recursos humanos (LIBONI *et al.*, 2019; RAUCH *et al.*, 2019; BERDAL *et al.*, 2019; HANNOLA *et al.*, 2018; ANSARI *et al.*, 2020). A relação universidade-indústria também é apresentada por diferentes autores (KARRE *et al.*, 2017; CIANFANELLI *et al.*, 2019; KRUGER, STEYN, 2019; BARBOSA *et al.*, 2020; SASTOQUE *et al.*, 2020). Outros autores, como Feng *et al.* (2017), Mahmood e Mubarik (2020) e Michna e Kmiecziak (2020) apresentaram a transferência e/ou gestão do conhecimento na Indústria 4.0. Também foram encontrados estudos da atuação da Transferência de Tecnologia no Cenário da Indústria 4.0 (ITUARTE *et al.*, 2018; DA SILVA *et al.*, 2019; KRUGER, STEYN, 2019; TOURK, MARSH, 2016; FU *et al.*, 2020).

Os trabalhos existentes apresentam que há um forte impacto da TT na I.40. Porém, nenhum desses trabalhos apresentaram qual realmente é a influência existente entre esses dois fatores. Também não há trabalhos que apresentem modelos e/ou frameworks dessa influência, e como essa união pode ser benéfica para as organizações.

Este estudo buscou desenvolver uma pesquisa significativa devido à ausência de estudos com esse escopo. Assim, surge a questão fundamental que

impulsiona o desenvolvimento desta pesquisa: **Como determinar a influência da Transferência de Tecnologia na maturidade da Indústria 4.0?**

## 1.1 OBJETIVOS

Decorrente do problema apresentado, delinearam-se os objetivos a seguir.

### 1.1.1 Objetivo Geral

Propor um modelo de diagnóstico de maturidade influenciada pela Transferência de Tecnologia no contexto da Indústria 4.0.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho, que irão compor o objetivo geral, são:

OE1) Elaborar um *Framework* Conceitual da Influência entre Transferência de Tecnologia e Indústria 4.0;

OE2) Determinar os componentes e dimensões da TT e I4.0;

OE3) Aplicar o modelo proposto em indústrias da região;

OE4) Analisar quais são as dimensões de I4.0 e TT que mais influenciam as outras e sofrem influências;

OE5) Desenvolver um diagnóstico de maturidade TT-I4.0 para as indústrias analisadas.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O conceito de Indústria 4.0 está presente em empresas e academias, porém, suas características ainda precisam ser implementadas nas organizações. Para adotar essas novas tecnologias é necessário um processo evolutivo. Dessa forma, para a organização conseguir adotar essas novas tecnologias, ela necessita de mecanismos da Transferência de Tecnologia.

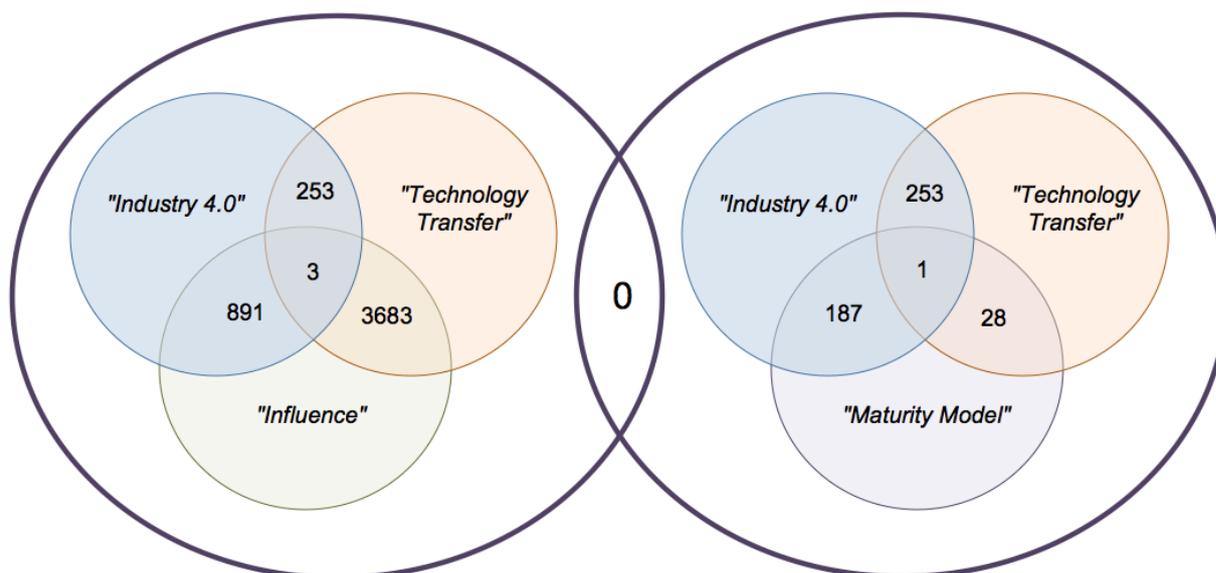
A finalidade dessa pesquisa é propor um modelo onde é possível mensurar o nível de maturidade para avaliar o estágio atual da Indústria 4.0 da organização, baseando-se na influência da Transferência de Tecnologia com os conceitos e

tecnologias 4.0. Com isso, é possível encontrar as medidas que podem levá-las a um estágio de maturidade mais alto.

Esta pesquisa pode ser justificada da seguinte maneira: durante a revisão sistemática da literatura, utilizando-se o *Methodi Ordinatio* criado por Pagani, Kovalski e Resende (2015), percebeu-se que poucos artigos apresentam a correlação entre Transferência de Tecnologia e Indústria 4.0. Ainda, revela-se uma ausência na literatura de qualquer estudo que apresente um modelo de maturidade abordando a influência desses dois fatores.

A originalidade desta pesquisa é validada pelas peculiaridades que não foram encontradas em outros trabalhos durante a revisão sistemática da literatura, como demonstrado na Figura 1, comprovando o ineditismo da pesquisa. Pesquisando-se isoladamente as palavras-chave “*Technology Transfer*”, “*Industry 4.0*”, “*Maturity Model*” e “*Influence*” nas bases de periódicos *Web of Science*, *Scopus* e *Science Direct*, obtém-se um grande número de trabalhos. Porém, quando combinados, este número de trabalhos cai circunstancialmente. Foram feitas, também, buscas nas bases de teses e dissertações no Portal CAPES para certificar-se que não havia trabalhos semelhantes. O recorte temporal utilizado nessa pesquisa foi de 21 anos: jan/2000 até abril/2021. Os números apresentados nessa figura foram encontrados antes da aplicação do *Methodi Ordinatio*, após sua aplicação os números caem consideravelmente. (Para essa busca, foram utilizadas as combinações de todas variantes para as palavras-chave “*Technology Transfer*” e “*Industry 4.0*”, o Apêndice A apresenta de maneira detalhada essa busca.)

**Figura 1 - Resultados da pesquisa**



**Fonte: Aatoria Própria (2021)**

Ainda que tenha sido encontrado 01 trabalho que aborde a temática de modelo de maturidade de Indústria 4.0 com Transferência de Tecnologia, e 03 trabalhos de influência entre Transferência de Tecnologia e Indústria 4.0, esta pesquisa se mantém original por suas peculiaridades e robustez que são: a) abordagem de todos os componentes de I4.0 e TT no modelo de maturidade; b) elaboração de um framework conceitual inédito que identifica a influência entre TT e I4.0; c) abordagem da influência entre I4.0 e TT em um modelo de maturidade; d) utilização do método DEMATEL para determinar os pesos das dimensões do modelo. Fatores esses não identificados em nenhum dos trabalhos já publicados.

A relevância vinculada a este trabalho está quanto às possibilidades de aprendizagem à comunidade acadêmica, empresarial e governamental, geradas na construção e validação do modelo. Esse modelo não somente irá resultar em novos conhecimentos, mas também auxiliar em futuras pesquisas.

As empresas participantes foram beneficiadas com o diagnóstico recebido após a realização da pesquisa, que apresenta seu nível de maturidade de Indústria 4.0 e Transferência de Tecnologia. Ainda, de acordo com cada resultado e cenário da empresa, foram abordadas estratégias e medidas para levá-las a um estágio de maturidade mais alto tanto em I4.0 como em TT, baseando-se na influência das dimensões.

Diferentes empresas também podem se beneficiar com esse trabalho. Esse modelo apresentado pode ser aplicado em qualquer empresa, e também, pode ser utilizado como ferramenta para um acompanhamento do processo de implementação de I4.0 e TT.

As abordagens apresentadas nesse trabalho visam auxiliar na gestão de recursos humanos, financeiros e tecnológicos nas indústrias. Assim, se enquadram na área de Engenharia Organizacional, considerada uma das dez áreas de atuação do Engenheiro de Produção no mercado de trabalho. O trabalho visa analisar e implementar conceitos de Indústria 4.0 nas organizações, utilizando a Transferência de Tecnologia como facilitadora, tema principal do Grupo de Pesquisa ao qual a pesquisadora está vinculada.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho encontra-se estruturado em nove capítulos. O primeiro capítulo apresenta a contextualização do tema, trazendo os objetivos e a justificativa do estudo.

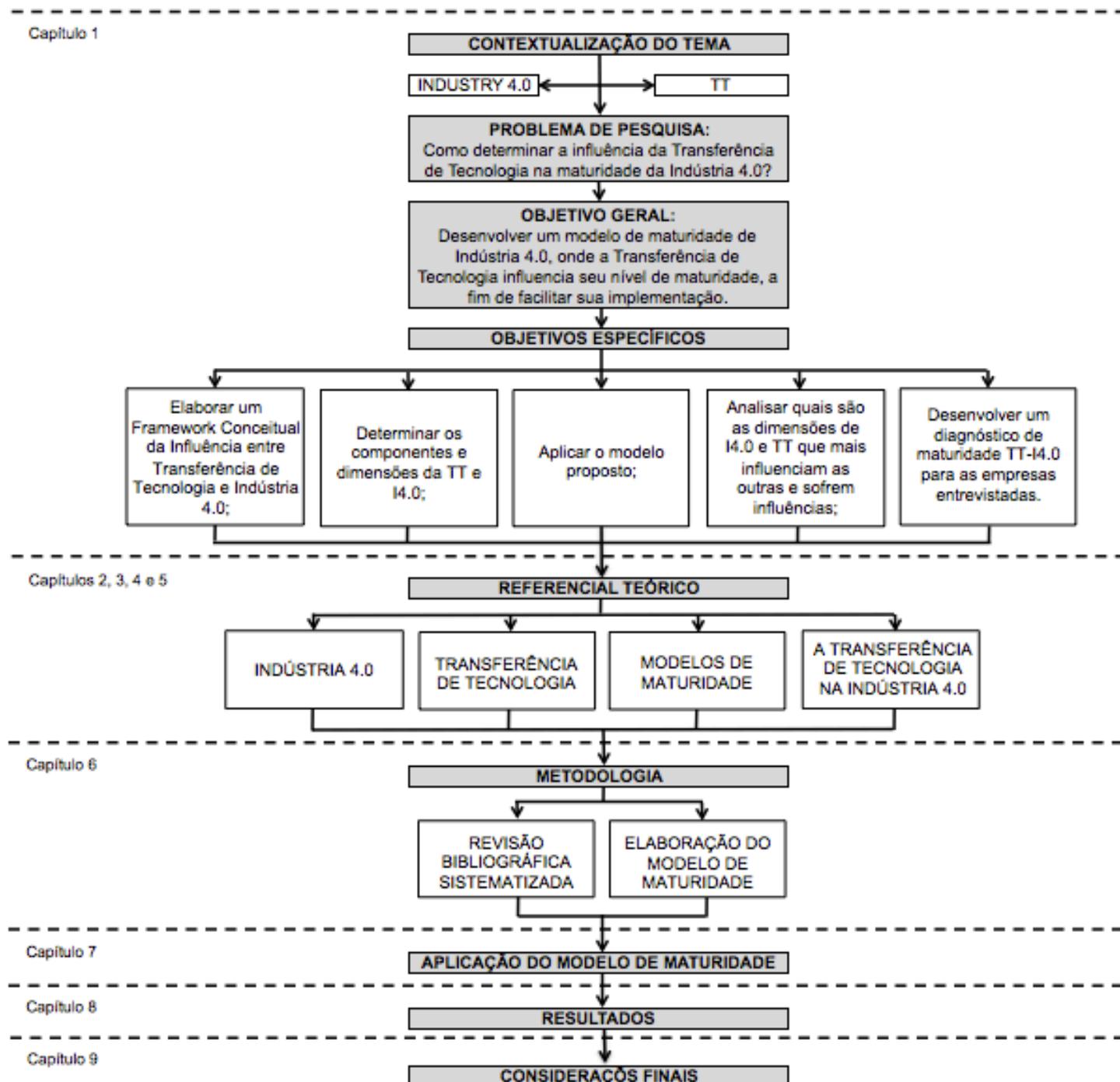
Os capítulos 2, 3, 4 e 5 trazem a fundamentação teórica deste trabalho. O capítulo 2 está apresentando os principais conceitos de Indústria 4.0, bem como sua caracterização, integração de processos e *building blocks*. As principais barreiras extraídas das literaturas estudadas também foram apresentadas. O capítulo 3 traz uma revisão sobre a Transferência de Tecnologia. Seu processo, a transferência de conhecimento, assim como seus mecanismos e suas barreiras existentes são citados para maior compreensão do assunto. O capítulo 4 apresenta os modelos de maturidade de I4.0 e TT encontrados na literatura, a fim de atingir um dos objetivos específicos propostos. Para finalizar o referencial teórico, o capítulo 5 relata o estado da arte, a Transferência de Tecnologia na Indústria 4.0. Esse capítulo é finalizado com um modelo teórico elaborado pela autora, que com base na literatura, apresenta a relação entre TT e I4.0.

A metodologia do trabalho é exposta no capítulo 6. O capítulo é subdividido nas seções: Revisão Bibliográfica Sistematizada e Elaboração do Modelo. A primeira sessão descreve-se como foi feita a obtenção do portfólio bibliográfico. Na segunda seção, é descrito como o Modelo de Maturidade foi construído em etapas.

O capítulo 7 detalha como foi feita a aplicação do Modelo de Maturidade I4.0-TT nas empresas, com o intuito de validar o mesmo. No capítulo 8, estão presentes todos os resultados obtidos na aplicação desse modelo. Por fim, o capítulo 9 apresenta as considerações finais desse trabalho.

Com intuito de fornecer uma visão geral do desenvolvimento deste estudo, a Figura 2 ilustra um fluxograma dos passos delineados neste trabalho.

Figura 2 - Fluxograma da estrutura do trabalho



Fonte: Autoria Própria (2021)

## 2 INDÚSTRIA 4.0

### 2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A Primeira Revolução Industrial ocorreu na Inglaterra em meados do século 18 e foi potencializada pela invenção do motor a vapor. Durante a segunda metade do século XIX, a Segunda Revolução Industrial surgiu na Europa e nos EUA. Essa revolução foi caracterizada pela produção em massa e pela substituição do vapor por energia química e elétrica. Para atender à crescente demanda, diversas tecnologias na indústria e mecanização foram desenvolvidas, como a linha de montagem com operações automáticas, permitindo o aumento da produtividade. A invenção do circuito integrado (*microchip*) foi o avanço tecnológico que desencadeou a Terceira Revolução Industrial. O uso de eletrônicos e a tecnologia da informação, a fim de obter maior automação na produção, são as principais características dessa revolução que surgiu nos últimos anos do século XX em muitos países industrializados ao redor do mundo (ACEMOGLU, 2002; TUNZELMANN, 2003).

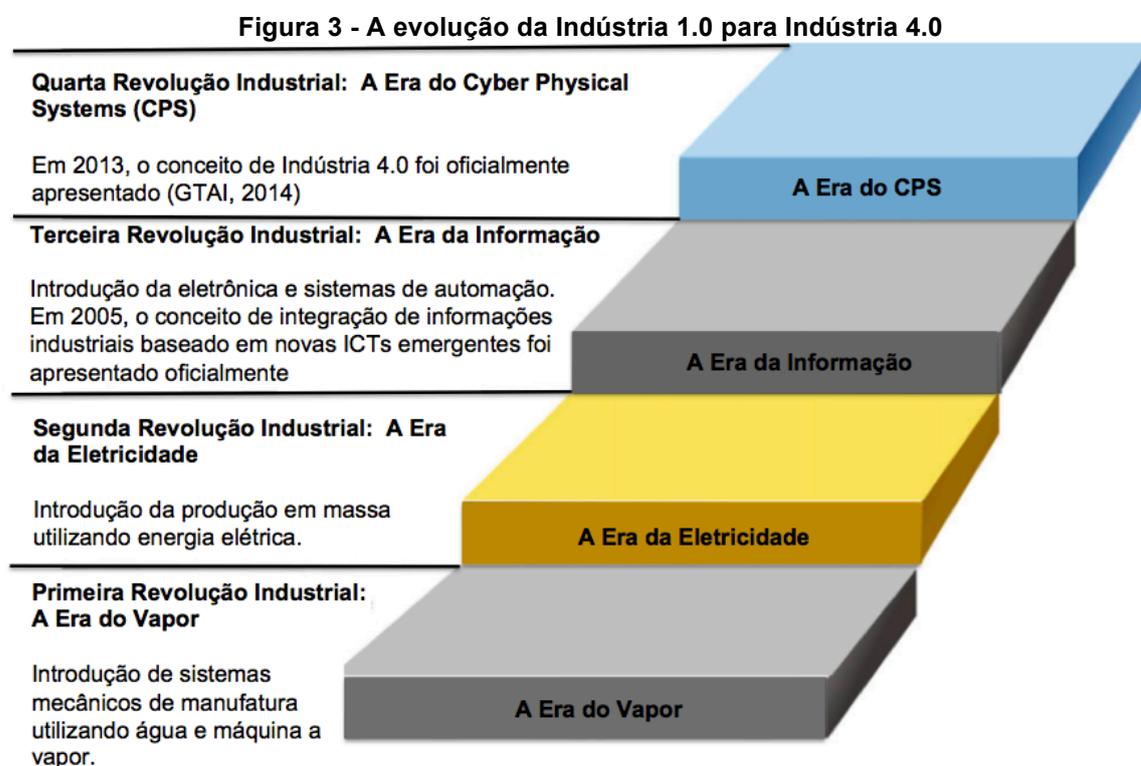
Segundo Schuh *et al.* (2013), o aumento da produtividade é o núcleo de toda revolução industrial. As três primeiras revoluções industriais tiveram um forte impacto nos processos industriais, permitindo aumentar a produtividade e a eficiência através do uso de desenvolvimentos tecnológicos disruptivos, como motores a vapor, eletricidade ou tecnologia digital.

Nos últimos anos, juntamente com o aumento da atenção da pesquisa na Internet das Coisas (IoT) e Sistemas Ciber-Físicos (CPS) (KHAITAN; MCCALLEY, 2015), governos e indústrias em todo o mundo notaram essa tendência, e agiram em benefício do que essa nova onda de revolução industrial poderia proporcionar (RIDGWAY *et al.*, 2013; SIEMIENIUCH *et al.*, 2015). A "Indústria 4.0" foi criada pela primeira vez na Feira de Hannover em 2011, e o termo chamou muita atenção de acadêmicos, profissionais, autoridades governamentais e políticos de todo o mundo (SUNG, 2018).

A Indústria 4.0, que pode eventualmente representar uma quarta revolução industrial, é um sistema tecnológico complexo, amplamente discutido e pesquisado, com grande influência no setor industrial. A Indústria 4.0 é um termo genérico para um novo paradigma industrial que abrange um conjunto de desenvolvimentos industriais futuros relacionados tecnologias como: *Sistemas Ciber-Físicos* (CPS),

Internet das Coisas (IoT), Internet dos Serviços (IoS), Robótica, *Big Data*, Fabricação em nuvem e realidade aumentada. A adoção dessas tecnologias é fundamental para o desenvolvimento de processos de fabricação inteligentes, que incluem dispositivos, máquinas, módulos de produção e produtos capazes de trocar informações de forma independente, acionar ações e controlar-se (WEYER *et al.*, 2015).

A Figura 3 mostra a evolução da Indústria 1.0 para a Indústria 4.0, sobre integração industrial e integração de informações industriais para a era emergente da IoT e CPS (XU *et al.*, 2018).



Fonte: Xu *et al.* (2018)

Segundo Kagermann *et al.* (2013), a Indústria 4.0 leva a automação da fabricação a um novo nível ao introduzir tecnologias de produção em massa personalizadas e flexíveis. Isso significa que as máquinas podem operar independentemente ou se coordenam com os seres humanos para produzir manufatura orientada para o cliente.

## 2.2 TERMOS UTILIZADOS

A Alemanha foi a primeira a se referir publicamente à digitalização da indústria como "*Industrie 4.0*" em 2011 (LASI *et al.*, 2014). Em seguida, o termo foi expandido para o mundo anglo-saxão como "*Industry 4.0*", e foi passada para outros países com significados e palavras semelhantes. Os Estados Unidos, por exemplo, concentram-se no termo "*Smart Manufacturing*", assim como o Japão e a Coreia. Já a *General Electric* utiliza essa ideia sob o nome "*Industrial Internet*" (OZTEMEL; GURSEV, 2020). Por fim, outros termos semelhantes são encontradas na literatura. O Quadro 1 apresenta esses termos que são considerados sinônimos de Indústria 4.0 e são utilizados na literatura.

**Quadro. 1 - Sinônimos de Indústria 4.0**

<b>Termos</b>	<b>Autores</b>
" <i>Smart Manufacturing</i> "	Davis <i>et al.</i> (2012); Wallace, Riddick (2013); Dais (2014); Ivezic <i>et al.</i> (2014); Choi <i>et al.</i> (2015); Davis <i>et al.</i> (2015); Bogle (2017); Feng <i>et al.</i> ; Hedberg (2017); Kusiak (2017); Sharp <i>et al.</i> (2018)
" <i>Quarta Revolução Industrial</i> "	Gorecky <i>et al.</i> (2014); Yue <i>et al.</i> (2015); Wang <i>et al.</i> (2016); Park <i>et al.</i> (2017)
" <i>Smart Factory</i> " / " <i>Smart Industry</i> "	Wang <i>et al.</i> (2016); Dias (2014); Tjahjono <i>et al.</i> (2017)
" <i>Advanced Manufacturing</i> "	Davis <i>et al.</i> (2012); Esmaelian <i>et al.</i> (2016); Tjahjono <i>et al.</i> (2017)
" <i>Digital Manufacturing</i> "	Byrne <i>et al.</i> (2016); Chong <i>et al.</i> (2018)
" <i>Intelligent Manufacturing</i> "	Bogle (2017); Zhong <i>et al.</i> (2017)
" <i>Factory of the Future</i> " (FoF)	Zangiacomi <i>et al.</i> (2018)
" <i>Industrial Internet</i> "	Wang <i>et al.</i> (2015)

Fonte: Autoria Própria (2021)

Em muitos países, incluindo a Coreia, a quarta revolução industrial é um termo mais utilizado do que a Indústria 4.0, porque o termo "quarta revolução industrial" é mais atraente e familiar (SUNG, 2018).

Segundo Schneider (2018), os termos "*Smart Factory*" e "*Factory of the Future*" não estão relacionados ao nível da indústria como um todo, mas à própria fábrica. Dado que a rede, a integração e a comunicação são limitadas a componentes dentro da fábrica. Em certa medida, esses termos ficam aquém da descrição da rede subjacente à Indústria 4.0. Termos como "*Smart Manufacturing*" ou "*Production 4.0*" (que quase não é usado em contribuições científicas) explicitamente se concentram na aplicação do CPS nos processos de fabricação. De certa forma, isso implica que esses termos negligenciam a rede de produtos e as

oportunidades correspondentes para serviços baseados em dados e novos modelos de negócios.

“*Smart Industry*”, bem como “*Industrial Internet*”, estão mais relacionados ao nível da indústria. Embora esses termos não tenham prevalecido na literatura e possam ser interpretados como estados-alvo da Indústria 4.0, este último difere principalmente da Indústria 4.0 na maneira como o intervalo de aplicativos é definido. (ARNOLD *et al.*, 2016).

Como o termo Indústria 4.0, os outros termos sofrem de deficiências e imprecisões terminológicas. Em particular, ainda não parece existir uma definição consistente para nenhum desses termos. Consequentemente, nenhuma clareza conceitual seria obtida simplesmente colocando um termo diferente em uso (SCHNEIDER, 2018).

Ainda, de acordo com a pesquisa de Schneider (2018), a conscientização da comunidade científica e do público é de longe a mais alta para o termo Indústria 4.0. Embora o termo tenha sido inicialmente inventado e usado principalmente na Alemanha, é seguro dizer que a pesquisa adotou o termo - “também além da área de língua alemã”.

### 2.2.1 Definições de Indústria 4.0

Na literatura, diversas são as definições encontradas para o termo Indústria 4.0. Trappey *et al.* (2016) definiram a Indústria 4.0 como um conceito geral que permite a fabricação com os elementos da inteligência tática, utilizando técnicas e tecnologias como Internet das Coisas, computação em nuvem e *big data*. Segundo Schmidt *et al.* (2015), do ponto de vista técnico, a Indústria 4.0 pode ser descrita como a crescente digitalização e automação do ambiente de fabricação, bem como a criação de uma cadeia de valor digital para permitir a comunicação entre produtos e seu ambiente e parceiros de negócios.

Para Schumacher, Erol e Sihn (2016), a Indústria 4.0 refere-se aos recentes avanços tecnológicos em que a Internet e as tecnologias de servem como espinha dorsal da integração de objetos físicos, atores humanos, máquinas inteligentes, linhas e processos de produtos em toda a organização para formar um novo tipo de cadeia de valor inteligente, em rede e ágil.

De acordo com Hermann *et al.* (2016), o conceito Indústria 4.0 pode ser entendido como um termo colaborativo para tecnologias e conceitos que abrangem toda a cadeia de valor da organização.

Já Weyer *et al.* (2015) afirma que esse novo paradigma industrial abrange o desenvolvimento de ambientes inteligentes capazes de aproximar o mundo real e virtual através do uso do CPS, integrando dispositivos, máquinas, módulos e produtos de produção, desencadeando ações e controlando-se autonomamente. O autor apresenta também, um novo aspecto importante para a Indústria 4.0: a interface homem-máquina e o surgimento de novos tipos de empregos.

Em suma, a Indústria 4.0 possui um enorme potencial, tendo impacto em toda a cadeia de valor, através da otimização dos processos de produção, melhorando a qualidade dos produtos, fortalecendo o relacionamento entre todas as partes interessadas e oferecendo novos modelos de negócios e novas formas de operação (FOIDL; FELDERER, 2016).

### 2.3 CARACTERIZAÇÃO DA I4.0

Pesquisadores e empresas mantêm pontos de vista diferentes sobre o conceito e as visões da Indústria 4.0, mas existe um consenso sobre os principais aspectos que abordam a visão futura de fabricação (QIN *et al.*, 2016). Baseando-se em Pereira e Romero (2017), os elementos de criação de valor na Indústria 4.0 podem ser caracterizados da seguinte maneira:

(1) *Smart Factory*: é resultante de vários desenvolvimentos que consistem em integração, digitalização e uso de estruturas flexíveis e soluções inteligentes. Essas soluções de fabricação permitem a criação de um ambiente inteligente ao longo de toda a cadeia de valor, possibilitando o desempenho de processos flexíveis e adaptáveis (RADZIWON *et al.*, 2014). Um ambiente de fábrica inteligente consiste em uma nova intercomunicação integrativa em tempo real entre todos os recursos de fabricação, o que aumenta a eficiência da fabricação e permite o encontro de requisitos de mercados altamente complexos (KAGERMANN *et al.*, 2013).

(2) *Produtos inteligentes*: são integrados a toda a cadeia de valor como parte ativa dos sistemas, monitorando seus próprios estágios de produção através do armazenamento de dados, podendo solicitar os recursos necessários e controlar os

processos de produção de forma autônoma. Além disso, produtos inteligentes, como produtos finais, devem ter consciência dos parâmetros dentro dos quais devem ser usados, fornecendo informações sobre seu status durante todo o ciclo de vida (KAGERMANN *et al.*, 2013).

(3) *Modelos de negócios*: estão sendo altamente influenciados pela indústria 4.0, pois esse novo paradigma de fabricação implica uma nova maneira de comunicação ao longo das cadeias de suprimentos. A modelagem de negócios está mudando nos últimos anos devido a novos requisitos industriais e de mercado. Existem muitas oportunidades para otimizar os processos de criação de valor e a integração através da cadeia de suprimentos, a fim de obter capacidade de auto-organização, integração e comunicação em tempo real (QIN *et al.*, 2016).

(4) *Clientes*: são um fator-chave em todos os modelos de negócios e a Indústria 4.0 traz um conjunto de vantagens para eles, melhorando a comunicação ao longo da cadeia de valor e melhorando a experiência do cliente. O alto nível de integração e a troca autônoma de informações permitirá a alteração dos requisitos em tempo real (QIN *et al.*, 2016).

(5) *Pessoas*: Os seres humanos serão fortemente afetados pelo aumento do trabalho do conhecimento e pela incerteza das tarefas (STOCK *et al.* 2018).

Do ponto de vista técnico, esse novo paradigma industrial pode ser descrito como o aumento da digitalização e automação do ambiente de fabricação, além de um aumento da comunicação viabilizada pela criação de uma cadeia de valor digital (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016). A Indústria 4.0 visa alcançar um fluxo contínuo de informações e planejamento nos diferentes níveis e entidades de criação de valor industrial. Existem três tipos de integração possíveis na Indústria 4.0: Integração horizontal, integração vertical e integração de engenharia de ponta a ponta (WANG *et al.*, 2016).

A Integração horizontal refere-se à troca de informações entre empresas e participantes de toda a cadeia de suprimentos, conectando todos os módulos de criação de valor (STOCK *et al.*, 2018). A Integração vertical refere-se à integração desses elementos através dos departamentos e níveis hierárquicos de uma organização, do desenvolvimento de produtos à fabricação, logística e vendas (PEREIRA; ROMERO, 2017). O objetivo é resolver o controle de maneira hierárquica, fornecendo acesso imediato às informações de planejamento desde o

equipamento até o nível MES e ERP. Isso permite, entre outras coisas, a possibilidade de sistemas de autocontrole. Já a Integração da engenharia de ponta a ponta descreve a conexão de todas as fases de um ciclo de vida do produto; da aquisição da matéria-prima à fabricação, uso do produto e fim da vida útil do produto. Oferecerá novas possibilidades e modelos de negócios, aplicando as informações de toda a vida (STOCK *et al.*, 2018).

## 2.4 INTEGRAÇÃO DE PROCESSOS

O uso das tecnologias da indústria 4.0 suporta um alto nível de integração de processos. Essa integração permite a criação de produtos e processos inteligentes que ajudam a atender às exigências do mercado em rápida mudança na forma de funcionalidades aumentadas e mais complexidade (PERSSON, 2016). Os seguintes princípios do Setor 4.0 são uma consequência do êxito da implantação das tecnologias do setor 4.0 e das integrações de processos (CARVALHO *et al.*, 2018).

(1) *Interoperabilidade*. É definida como a capacidade de desempenhar a mesma função, mesmo na troca de máquinas e equipamentos, mesmo de fabricantes diferentes. A interoperabilidade fornece um ambiente confiável, estendendo várias redes em um sistema de manufatura (QIN *et al.*, 2016).

(2) *Descentralização*. É definida como a capacidade de tomar decisões das empresas, da equipe de operações e até das máquinas. Esse princípio ajuda a obter decisões rápidas e oferece mais flexibilidade. A descentralização atua como uma configuração organizacional perfeita para lidar com as crescentes necessidades de produtos altamente personalizados (KAMBLE *et al.* 2018).

(3) *Virtualização*. Significa criar uma cópia virtual do mundo físico. A virtualização é usada para o monitoramento do processo e a comunicação máquina a máquina. Esses modelos virtuais baseados em simulação são vinculados aos dados do sensor. A virtualização ajuda a notificar as falhas do sistema e avança as disposições de segurança (KAMBLE *et al.* 2018).

(4) *Trabalho em tempo real*. As tecnologias de *big data* aumentam a capacidade em tempo real das organizações. Os grandes dados coletados das

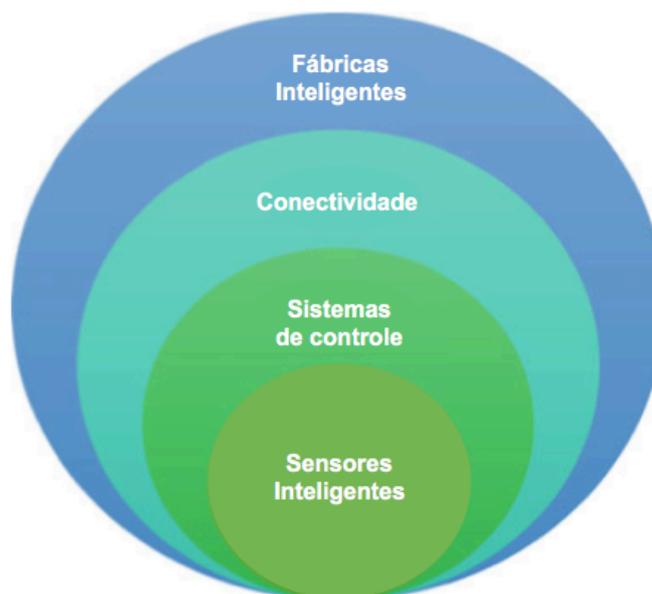
fábricas, dos clientes, e os dados recebidos dos fornecedores quando analisados em tempo real, alteram a maneira como as decisões são tomadas e seu impacto sobre a lucratividade das organizações baseadas na indústria 4.0 (KAMBLE *et al.* 2018).

(5) *Modularidade*. Refere-se aos sistemas de produção modulares que podem ser adaptados substituindo e expandindo os módulos individuais de uma maneira muito mais confortável. A modularidade do sistema oferece ajustes de capacidade em situações de flutuações sazonais ou mudanças nas necessidades de produção do produto. A modularidade também facilita a simulação de vários processos de fabricação, como *design* de produto, planejamento de produção, engenharia e serviços de produção e produção como processos individuais e interconectá-los mais tarde, oferecendo intercambiabilidade (QIN *et al.*, 2016).

(6) *Orientação de serviço*. A integração do processo traz o sentido de orientação ao serviço, pois todas as entidades do sistema de produção estão interconectadas, facilitando a criação do sistema de serviço do produto. A flexibilidade e agilidade alcançadas como resultado da orientação ao serviço permitem que as organizações respondam às mudanças do mercado mais rapidamente. Isso permite que as várias partes interessadas das organizações se reúnam e se associem para co-criar valor para os consumidores (KAMBLE *et al.* 2018).

## 2.5 BUILDING BLOCKS

A Indústria 4.0 está modificando a maneira de fabricação dos produtos, e também, a maneira de realizar os pedidos. Essa nova revolução se baseia nas tecnologias atuais, porém, a maneira de utilizar essas tecnologias foi reorganizada para fornecer serviços coordenados superiores. Segundo Kumar e Nayyar (2020), a base da Indústria 4.0 é construída a partir de quatro elementos físicos básicos: Sensores Inteligentes, Sistemas de Controle, Conectividade e Fábricas Inteligentes. A Figura 4 exemplifica essa base, que podemos chamar de *Building Blocks*, ou Blocos de Construção.

**Figura 4 - Building Blocks da Indústria 4.0**

Fonte: Kumar e Nayyar (2020)

1) *Sensores inteligentes*: são a base da Indústria 4.0. Como a I4.0 é uma revolução envolvida em IOT e CPS, são os sensores que executam uma ampla gama de funções para fornecer suporte a essas tecnologias. Portanto, os sensores inteligentes são a primeira camada no desenvolvimento da I4.0, como mostrado na Figura 4. Os sensores inteligentes atuam como ativos de fabricação que podem virtualmente reunir grandes dados sobre os produtos e seu ambiente. Os sensores podem fornecer a capacidade de comunicação sem fio e os dados também podem ser sintetizados usando uma interface baseada em nuvem. Os sensores também podem detectar atividades anômalas (KUMAR; NAYYAR, 2020).

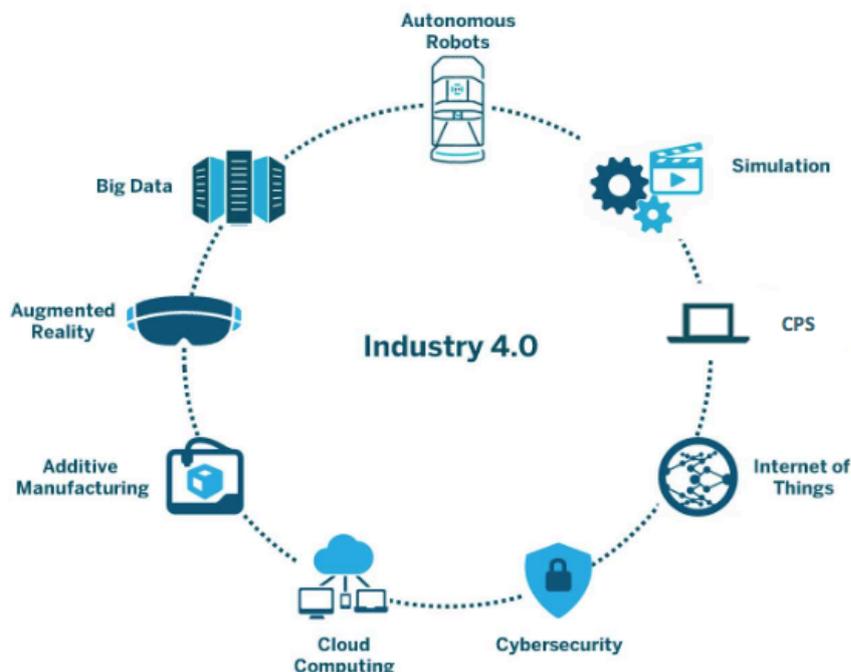
2) *Sistemas de controle*: monitoram as condições de trabalho das máquinas de fabricação e quaisquer eventos críticos. Eles servem como o cérebro do processo de fabricação. Os sistemas de controle implementados em uma instalação de manufatura geralmente são centralizados ou descentralizados. Subsistemas como sistemas de aquisição de dados, rede de sensores, atuadores e dispositivos de controle estão altamente envolvidos no sistema de controle para fabricação. Recentemente, os sistemas de controle estão envolvidos no monitoramento do consumo de energia em um ambiente de fabricação em tempo real (KUMAR; NAYYAR, 2020).

3) *Conectividade*: os controles supervisionam as condições de trabalho e o processo de aquisição de dados pelos sensores, mas esses dados não serão úteis se não forem comunicados ao servidor centralizado ou aos tomadores de decisão. Essa comunicação entre dispositivos é possível por meio de conectividade e rede, e essa conectividade é fornecida usando a Internet. Várias tecnologias são incluídas: roteadores, servidores, comutadores, *Ethernet*, dispositivos *gateways* e tecnologias *Linking*. A base do setor 4.0 é o conceito de tudo conectado; portanto, quando um pedido é recebido por um dispositivo, todos os outros são compartilhados com as informações por meio compartilhado. Os dispositivos móveis podem desempenhar um papel fundamental no fornecimento de conectividade entre os dispositivos. A comunicação é como o fluxo sanguíneo da indústria 4.0 e as telecomunicações podem desempenhar um papel importante nela (KUMAR; NAYYAR, 2020).

4) *Fábrica Inteligente*: A fábrica inteligente é o coração da indústria 4.0. Todo o conceito de negócios, produtos, máquinas e vendas da nova revolução faz parte ou depende da fábrica inteligente. Fábricas inteligentes têm grande controle sobre si mesmas e fornecem um sistema flexível que permite a auto-otimização do desempenho em uma ampla rede e a auto-adaptação, permitindo o aprendizado em condições em tempo real. Eles também têm o potencial de executar autonomamente processos de produção inteiros. Em termos simples, uma fábrica inteligente é uma fábrica em que máquinas inteligentes trabalham para produzir produtos inteligentes (KUMAR; NAYYAR, 2020).

Sensores Inteligentes, Sistemas de Controle, Conectividade e Fábricas Inteligentes são a necessidade de configurar uma indústria de manufatura para a revolução atual. As tecnologias incorporadas por essa revolução são conhecidas como os nove pilares da Indústria 4.0, que completam os *Building Blocks*. A Figura 5 apresenta essas tecnologias.

Figura 5 - Tecnologias dos Building Blocks



Fonte: Kumar e Nayyar (2020)

### 2.5.1 *Cyber and Physical System*

O CPS (*Cyber and Physical Systems* - Sistemas Cibernético e Físico) é a base principal da Indústria 4.0 (LEE *et al.*, 2015). Os CPS são sistemas projetados que são construídos e dependem da integração perfeita de algoritmos computacionais e componentes físicos (XU *et al.*, 2018). Isso permite que os objetos se comuniquem com seu ambiente e reconfigurem em tempo real em resposta a novas necessidades (YUE *et al.*, 2015);

O CPS conecta o espaço virtual à realidade física, integrando recursos de computação, comunicação e armazenamento; além disso, pode ser em tempo real, eficiente, confiável e seguro (CHENG *et al.*, 2016). O CPS é considerado uma tecnologia que habilita a Indústria 4.0 que mesclará os mundos virtual e físico, fazendo desaparecer as fronteiras entre esses dois mundos. Os sistemas de fabricação da Indústria 4.0 são sistemas colaborativos que envolvem vários agentes de comunicação, incluindo agentes físicos, agentes de *software* e agentes humanos. Isso resultará na fusão de processos técnicos e de negócios, abrindo caminho para uma nova era industrial, resultando na fábrica inteligente. O CPS pode melhorar a

produtividade e eficiência dos recursos e permitir modelos mais flexíveis de organização do trabalho (XU *et al.*, 2018).

A essência da Indústria 4.0 é aplicar o CPS para realizar fábricas inteligentes (KUSIAK, 2017). Em outras palavras, a fábrica inteligente é possibilitada pelos sistemas de produção baseados em CPS. O CPS pode desempenhar um papel importante nos processos inteligentes de fabricação e produção da fábrica. Isso fornece vantagens significativas em tempo real, recursos e custos em comparação com os sistemas de produção clássicos (XU *et al.*, 2018).

### 2.5.2 *Cloud Computing*

A operação de uma empresa moderna envolve inúmeras atividades de tomada de decisão, exigindo uma grande quantidade de informações e computação intensiva. A certa altura, as empresas de manufatura exigiam vários recursos de computação, como servidores para bancos de dados e unidades de tomada de decisão. Isso causou troca e compartilhamento de dados ineficientes, baixa produtividade e utilização menos otimizada dos recursos de fabricação. A computação em nuvem fornece uma solução eficaz para esses problemas. Todos os dados podem ser armazenados em servidores em nuvem pública ou privada e, dessa forma, tarefas complexas de tomada de decisão podem ser suportadas pela computação em nuvem (XU *et al.*, 2018).

A computação em nuvem é uma tecnologia de computação que oferece alto desempenho e baixo custo (ZHENG *et al.*, 2014). A tecnologia de virtualização fornece à computação em nuvem compartilhamento de recursos, alocação dinâmica, extensão flexível e inúmeras outras vantagens (XU *et al.*, 2018). Com tempo de reação de alguns milissegundos e grandes larguras de banda, o compartilhamento de informações em vários sistemas e redes em tempo real pode garantir que dados e aplicativos estejam disponíveis em qualquer lugar, o tempo todo e em qualquer terminal (GUPTA *et al.*, 2013).

A manufatura baseada em nuvem é uma tecnologia crescente que pode contribuir significativamente para a realização da Indústria 4.0. Ela permite a modularização e a orientação de serviços no contexto da manufatura, em que a orquestração de sistemas e o compartilhamento de serviços e componentes são

considerações importantes (MOGHADDAM; NOF, 2017). A fabricação em nuvem, semelhante à computação em nuvem, usa uma rede de recursos de uma maneira altamente distribuída. O design e a fabricação em nuvem são considerados o próximo paradigma na fabricação, e uma extensa pesquisa está sendo realizada sobre seu significado na Indústria 4.0 (BRANGER; PANG, 2015).

### 2.5.3 *Industrial Internet of Things (IIoT)*

Segundo Wong e Kim (2017), a *Internet of Things* (IoT) é um novo ecossistema industrial que combina máquinas inteligentes e autônomas, análise preditiva avançada e colaboração homem-máquina para melhorar a produtividade e a eficiência. É um conceito de computação que descreve a conexão onipresente à Internet, transformando objetos comuns em dispositivos conectados (SISINNI *et al.*, 2018). A IoT fornece capacidade de detecção / atuação em tempo real e capacidade de transmissão rápida de dados / informações, para que a operação remota de atividades de fabricação e a colaboração eficiente entre as partes interessadas sejam bastante facilitadas (YANG *et al.*, 2017).

Como um subconjunto da IoT, a IIoT Industrial (IIoT) abrange os domínios das tecnologias de comunicação máquina a máquina (M2M) e de comunicação industrial com aplicativos de automação. A IIoT abre o caminho para uma melhor compreensão do processo de fabricação, permitindo uma produção eficiente e sustentável. A fabricação inteligente obviamente se concentra no estágio de fabricação do ciclo de vida dos produtos (inteligentes), com o objetivo de responder rápida e dinamicamente às mudanças na demanda. Portanto, a IIoT afeta toda a cadeia de valor industrial e é um requisito para a fabricação inteligente (SISINNI *et al.*, 2018).

De acordo com Xu, He e Li (2014), uma rede IoT típica inclui quatro camadas essenciais principais:

- (1) Uma camada de detecção que integra diferentes tipos de "coisas", como etiquetas RFID, sensores, atuadores;
- (2) Uma camada de rede que suporta transferência de informações por meio de rede com ou sem fio;
- (3) Uma camada de serviço que integra serviços e aplicativos por meio de uma

tecnologia de *middleware*; e

(4) Uma camada de interface para exibir informações ao usuário e que permite a interação com o sistema.

#### 2.5.4 Realidade Aumentada (RA)

A disponibilidade de dados em um sistema incorporado fornece novos meios de acesso às informações aos usuários. Óculos inteligentes e outras tecnologias de Realidade Aumentada (RA) e Realidade Virtual (VR) estão sendo cada vez mais usadas nos processos de fabricação. Como tal, eles podem ser usados para simular um ambiente contendo objetos reais, que podem ser usados para aprimorar os processos de design e fabricação (LEE *et al.*, 2011).

Aumentar o desempenho humano é o objetivo da RA, fornecendo as informações necessárias para uma determinada tarefa específica (PALMARINI *et al.*, 2017). Esta nova tecnologia fornece ferramentas poderosas, atuando como uma Interface Homem-Máquina (IHM). Como uma crescente tecnologia em evolução, recentemente, o uso de RA está se espalhando para diferentes campos de fabricação. O uso de RA nos processos de fabricação relacionados à simulação, assistência e orientação provou ser uma tecnologia eficiente que ajuda nos problemas. A tecnologia de RA aumenta a percepção do operador da realidade usando informações artificiais sobre o meio ambiente, onde o mundo real é cumprido por seus objetos (SYBERFELDT *et al.*, 2015; SYBERFELDT *et al.*, 2016).

A manutenção é um dos campos mais promissores da RA. Ele aprimora o desempenho humano na execução de tarefas de manutenção técnica, como também suporta a tomada de decisões de manutenção (PALMARINI *et al.*, 2017).

#### 2.5.5 *Big Data Analytics*

Várias ferramentas e técnicas estão disponíveis para explorar uma grande massa de dados de produção. O processamento de grandes quantidades de dados sempre foi visto como um grande desafio para as funções de planejamento e controle da produção, bem como uma necessidade para alcançar as metas da Indústria 4.0 (BABICEANU; SEKER, 2016).

As análises e tecnologias de *big data* suportam a coleta de dados em tempo real de muitas fontes diferentes, levando a uma maior flexibilidade de fabricação, qualidade do produto, eficiência energética e serviço de equipamentos aprimorado (STRANGE; ZUCHELLA, 2017; PREUVENEERS; ILIE-ZUDOR, 2017).

As tecnologias de *big data* se referem a uma nova geração de tecnologias e arquiteturas que permitem às organizações extrair valor econômico através da descoberta, captura e análise de volumes muito grandes de uma ampla variedade de dados. A análise de *big data* permite que as organizações contemporâneas obtenham melhor valor com a enorme quantidade de informações que já possuem e identificam o que provavelmente acontecerá em seguida e quais ações devem ser tomadas para alcançar os melhores resultados (LAVALLE *et al.*, 2011).

A análise de *big data* tem sido amplamente usada na fabricação para o monitoramento de processos, e a descoberta de falhas oferece suporte a novos recursos, como análises preditivas (YUAN *et al.*, 2017). No entanto, esses recursos exigem alta qualidade dos dados e experiência em análise para a realização de soluções eficientes de manufatura online (MOYNE; ISKANDAR, 2017). A exploração da inteligência do *big data* para impulsionar a agilidade exigirá enfrentar novos desafios, como garantir a consistência e a confidencialidade dos dados por meio de longas e complexas cadeias de suprimentos (BOGLE, 2017).

#### 2.5.6 Cyber Security

Garantir um número maior de canais de comunicação sem reduzir o desempenho das redes é essencial para garantir a implantação das estratégias da Indústria 4.0 (AIREHROUR *et al.*, 2016).

Os CPSs baseados na IoT, conectados a milhões de sensores e dispositivos de comunicação incorporados, apresentam os riscos normais associados ao aumento do uso de dados e os riscos mais significativos de violações sistêmicas (WITTENBERG, 2016). CPMSs podem enfrentar a ameaça de ataques cibernéticos. Depois que os CPMSs são implantados nas organizações, o *software* malicioso pode afetar e se espalhar de uma máquina para outra pelos sistemas de comunicação. Os vírus espalhados por esse *software* podem ter a intenção de modificar o processo de fabricação ou destruir os dados através do sistema, levando

a defeitos de qualidade nos produtos ou a um desligamento completo. Os problemas de segurança nos CPMSs na forma de ataques cibernéticos e roubo de dados são críticos e precisam ser controlados para melhorar a confiabilidade e a aceitabilidade do sistema (YU *et al.*, 2017). Os dados industriais são altamente sensíveis, pois englobam vários aspectos da operação industrial, incluindo informações sobre produtos, estratégias de negócios e empresas (WOLF; SERPANOS, 2017).

A cibersegurança é um elemento-chave da Indústria 4.0, dado que todas as organizações voltadas para a Internet estão em risco de ataque. Não há dúvida de que a Indústria 4.0 será desafiada pelos problemas tradicionais de segurança cibernética, juntamente com seus próprios problemas de segurança e privacidade (THAMES; SCHAEFER, 2017).

#### 2.5.7 Robôs Autônomos

Robôs e tecnologias de sensores incorporados estão se tornando cada vez mais flexíveis, comunicativos e cooperativos (MICHNIEWICZ; REINHART, 2014). A conectividade com os produtos e os mecanismos adequados de colaboração com os seres humanos acabarão favorecendo a redução do tamanho dos lotes para um único item a um custo razoável (MOEUF *et al.*, 2018).

Os robôs modernos são caracterizados como sistemas que oferecem autonomia, flexibilidade e cooperação. Esses robôs oferecem vantagem de custo e uma excelente variedade de recursos, executando a maioria dos processos na fábrica inteligente (PEI *et al.*, 2017).

Processos como fases de desenvolvimento do produto, fabricação e montagem, são processos que os robôs adaptativos são muito úteis nos sistemas de fabricação (SALKIN *et al.*, 2018). É importante referir que robôs totalmente autônomos tomam suas próprias decisões para realizar tarefas em ambientes constantemente mutáveis sem a interação do operador (BEN-ARI; MONDADA, 2018).

O conceito de robôs colaborativos (cobots) também introduz a proximidade de robôs com seres humanos (KOCH *et al.*, 2017). Cobots são uma categoria de robôs especialmente projetados para interagir direta e fisicamente com seres humanos, em estreita cooperação. Isso é possível devido aos limites de segurança existentes na

velocidade e nas forças que reiniciam o cobot automaticamente, permitindo guiá-lo manualmente (WEISS; HUBER, 2016). Com isso, para as empresas de manufatura, a barreira humano-robô é quebrada, oferecendo maior acessibilidade e flexibilidade nas soluções (MAKRINI *et al.* 2018).

#### 2.5.8 Additive manufacturing / 3D Printing

*Additive Manufacturing* é o processo de unir materiais para criar objetos tridimensionais, a partir de modelos digitais de computador usando uma máquina. O processo geralmente é desenvolvido camada após camada, diferentemente dos métodos tradicionais de fabricação subtrativa. O termo impressão 3D é muito mais popular e é comumente usado como sinônimo de *Additive Manufacturing Technologies* (AMT) (WOHLERS; CAFFREY, 2013).

Jian *et al.* (2017) discutiram o potencial da AMT na substituição de muitos processos de fabricação convencionais. AMT é uma tecnologia capacitadora que ajuda em novos produtos, novos modelos de negócios e novas cadeias de suprimentos. Produtos únicos podem ser fabricados sem os excedentes convencionais, por isso é uma grande vantagem. Com a impressão 3D é possível criar protótipos para permitir a independência dos elementos da cadeia de valor e, portanto, obter redução de tempo no processo de design e fabricação.

Embora os sistemas de manufatura 3D ainda estejam nos estágios iniciais, espera-se que as organizações façam uso muito mais amplo dele na Indústria 4.0. Chen e Lin (2017) afirmam a necessidade do uso da tecnologia de impressão 3D como um facilitador para a fabricação inteligente. No entanto, eles identificam que a impressão 3D enfrenta desafios técnicos, como tipos limitados de materiais utilizáveis, baixa precisão e baixa produtividade. Se esses desafios forem superados, a produção inteligente baseada nessa tecnologia poderá fornecer continuamente objetos 3D de interesse para os clientes ou ingressar no maior número possível de redes de produção onipresentes. Zawadzki e Zywicki (2016) discutem a prototipagem híbrida, que é uma integração de tecnologias de fabricação aditiva e técnicas de realidade virtual.

### 2.5.9 Simulações

Simulações e prototipagem aproveitarão dados em tempo real para espelhar o mundo físico em um modelo virtual, que pode incluir máquinas, produtos e humanos (RÜßMANN *et al.*, 2015). Isso permite que os operadores testem e otimizem as configurações da máquina para o próximo produto em linha no mundo virtual antes da troca física, diminuindo assim os tempos de configuração da máquina e aumentando a qualidade (BAHRIN *et al.*, 2016).

As técnicas de simulação e modelagem visam a simplificação e favorecimento econômico do projeto, realização, testes e execução de uma operação ativa de sistemas de manufatura (KOCIAN *et al.*, 2012). A simulação e a modelagem não apenas permitem que os fabricantes evitem erros em um estágio inicial que, de outra forma, poderiam resultar em custos substanciais para os operadores da planta, mas também podem ser usados para otimizar uma planta de fabricação durante a operação diária em andamento (GILCHRIST, 2016).

Projeto de sistema ideal ou quase ideal é o objetivo dos tomadores de decisão. Essa otimização é possível devido a uma pesquisa sistemática em um amplo espaço de decisão, sem restrições ou requisitos pré-especificados. Em ambientes dinâmicos e incertos, essa ferramenta tem o potencial de otimizar decisões de controle e apoiar a tomada de decisões em tempo real. Isso pode ser possível quando a eficiência computacional necessária for atingida. Comparado à simulação convencional, a simulação em tempo real on-line pode analisar o comportamento do usuário e do sistema em milissegundos, permitindo ao usuário desenvolver e produzir praticamente um protótipo para o produto ou serviço (XU *et al.*, 2016). De acordo com Cedeño *et al.* (2018), uma simulação em tempo real é quando um computador é executado na mesma taxa que o sistema físico; portanto, o modelo de simulação precisa ser alimentado com dados em tempo real que podem ser alcançados usando a IoT.

Em conjunto, esses nove blocos de construção impulsionam a interconexão de todos os sensores, sistemas de TI e máquinas em toda a empresa e sua cadeia de suprimentos.

## 2.6 IMPACTOS E BARREIRAS

Os avanços da transformação digital e a crescente interconectividade trarão novos desafios para as organizações, uma vez que a Indústria 4.0 mudará significativamente os produtos e sistemas de manufatura em design, processos, operações e serviços (PEREIRA; ROMERO, 2017).

O setor 4.0 levará a possíveis mudanças profundas em vários domínios que vão além do setor industrial. Porém, toda essa mudança do cenário industrial traz uma série de barreiras que dificultam sua implementação.

Segundo Pereira e Romero (2017), seus impactos e influência podem ser classificados em seis áreas principais: (1) Indústria, (2) Produtos e serviços, (3) Modelos de negócios e mercado, (4) Economia, (5) Ambiente de trabalho e (6) Desenvolvimento de habilidades. Dessa maneira, todas as barreiras encontradas na revisão de literatura realizada, foram distribuídas entre essas seis áreas principais. O Quadro 2 apresenta essas barreiras:

Quadro 2 - Barreiras da Indústria 4.0

Áreas	Barreira	Autores
Indústria	Infraestrutura	Thoben <i>et al.</i> (2017)
	Falta de segurança e privacidade / TI	Thoben <i>et al.</i> (2017); Sung (2018); Marques <i>et al.</i> (2017); Hecklau <i>et al.</i> (2016); Yu <i>et al.</i> (2017); Babiceanu e Seker (2016)
	Complexidade em relação a integração total de produtos e processos	Dombrowski, Wagner (2014)
	Mudanças organizacionais e de processo	Bröring <i>et al.</i> (2017); Gnimpieba <i>et al.</i> (2015); Hussain (2017); Valmohammadi (2016)
	Falta de cobertura da Internet e instalações de TI	Fang <i>et al.</i> (2016); Yan <i>et al.</i> (2014a); Yan <i>et al.</i> (2014b).
	Necessidade de manter a integridade dos processos de produção	Sung (2018).
	Questões de conformidade regulamentar	Lin (2016); Thoben <i>et al.</i> (2017); Christian <i>et al.</i> (2017)
	Incerteza jurídica e contratual	Christians, Liepin (2017); Shelbourn <i>et al.</i> (2005); Merz, Mangini (2002); Thoben <i>et al.</i> (2017); Christian <i>et al.</i> (2017); Marques <i>et al.</i> (2017).
Produtos e serviços	Demanda crescente pelo desenvolvimento de produtos mais complexos e inteligentes	Davis <i>et al.</i> (2012)
	Demanda de clientes	Thoben <i>et al.</i> (2017)
	Imaturidade tecnológica	Marques <i>et al.</i> (2017); Thoben <i>et al.</i> (2017)
Modelos de negócios e mercado	Mudança muito rápida nos modelos de negócios	Thoben <i>et al.</i> (2017)
	Novos competidores	Thoben <i>et al.</i> (2017)
	Problemas de integração e compatibilidade	Valmohammadi (2016); Hussain (2017); Da Xu <i>et al.</i> (2014)
Economia	Custos de Investimento	Thoben <i>et al.</i> (2017)
	Alto custo de implementação	Kamigaki (2017)
	Retorno de investimento incerto	Marques <i>et al.</i> (2017);
Ambiente de trabalho	Perda de muitos empregos	Sung (2018); Frey, Osborne (2017); Spath <i>et al.</i> (2013)
	Confiabilidade e estabilidade necessárias para comunicação crítica máquina a máquina (M2M)	Sung (2018); Kagermann <i>et al.</i> (2013)
	Relação Homem-Máquina	Rauch <i>et al.</i> (2019); Santana <i>et al.</i> (2017)
	Relutância geral em mudar pelas partes interessadas	Sung (2018).
Desenvolvimento de habilidades	Falta de conhecimento	Christian <i>et al.</i> (2017); Lorna (2017); Davies <i>et al.</i> (2011); Rymaszewska, Helo (2017)
	Falta de habilidades necessárias dos funcionários	Thoben <i>et al.</i> (2017); Sung (2018); Koch <i>et al.</i> (2014); Mueller <i>et al.</i> (2017) Christian <i>et al.</i> (2017); Marques <i>et al.</i>

		(2017); Benešová, Tupa (2017); Ryan <i>et al.</i> (2017)
	Necessidade de treinamento de alta qualidade	Erol <i>et al.</i> (2016)
	Pensamento interdisciplinar	Magruk (2016)
	Necessidade de pessoal cada vez mais qualificado nas áreas tecnológicas	Pereira, Romero (2017)
	Falta de compreensão clara sobre os benefícios da IoT	Da Xu <i>et al.</i> (2014); Hognelid, Kalling (2015); Lee, Lee (2015)
	Falta de padrões e arquitetura de referência	Mueller <i>et al.</i> (2017)

Fonte: Autoria Própria (2021)

Talvez o aspecto mais desafiador da implementação da Indústria 4.0 seja o risco de segurança de TI. O setor 4.0 exigirá integração on-line entre várias entidades, e essa integração on-line dará espaço para violações de segurança e vazamentos de dados. O roubo cibernético seria outra ameaça perigosa. Nesse caso, o problema não é individual e isso custará substancialmente aos fabricantes e pode até prejudicar sua reputação. Portanto, a segurança é uma questão crucial que deve ser tratada com seriedade (SUNG, 2018).

A transformação para a Indústria 4.0 exigirá grandes investimentos em novas tecnologias, e a decisão para essas transformações deverá ser tomada no nível do CEO. Mesmo assim, os riscos devem ser calculados e levados a sério. Embora ainda seja cedo para especular sobre questões de emprego com o advento da Indústria 4.0, é seguro aceitar que os trabalhadores precisarão adquirir habilidades diferentes ou totalmente novas. Isso pode ajudar a aumentar as taxas de emprego, mas também alienará um grande setor de trabalhadores (SUNG, 2018).

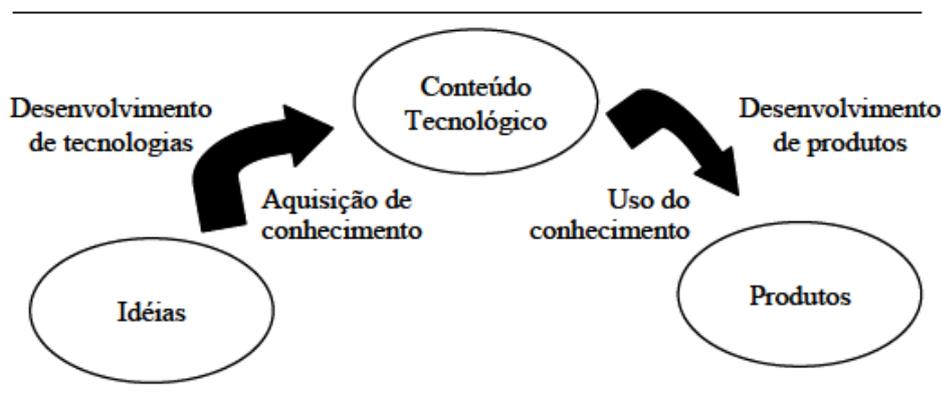
O setor de trabalhadores cujo trabalho talvez seja repetitivo e rotineiro enfrentará um forte desafio para manter seus empregos. Novos e diferentes sistemas educacionais devem ser introduzidos, mas isso ainda não resolve o problema dos trabalhadores mais velhos. Esse é um problema que pode levar muito tempo para ser resolvido. A privacidade não é apenas uma preocupação do cliente, mas também do fabricante. Em uma rede interligada da Indústria 4.0, os fabricantes precisam coletar e analisar uma enorme quantidade de dados. Para os clientes, isso pode parecer uma ameaça à sua privacidade. Reduzir a diferença entre o consumidor e o fabricante será um grande desafio para ambas as partes (SUNG, 2018).

### 3. TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA

Para melhor contextualizar a transferência de tecnologia neste trabalho, é necessário entender primeiramente os conceitos que permeiam o tema. O termo *tecnologia* concentra-se no conhecimento de uma técnica e método específico para resolver um problema. A tecnologia foi desenvolvida pela pesquisa científica e P&D, e é um elemento crítico para o desenvolvimento econômico da indústria. Ao melhorar a eficiência das atividades de uma empresa, a tecnologia ajuda a reduzir o custo de produção e aumentar a produtividade de fabricação (GISSELQUIST; GREYER, 2000).

Para Kahn *et al.* (2005), a tecnologia é um processo onde há a aquisição e o desenvolvimento do conhecimento, inovações e descobertas. Posteriormente, esse conhecimento adquirido é utilizado nos projetos de produtos. A Figura 6 apresenta essa ideia:

Figura 6 - Desenvolvimento de Tecnologias



Fonte: Kahn *et al.* (2005)

A tecnologia pode ser entendida como conhecimento. O termo Conhecimento é utilizado nas organizações desde 1991. Porém, somente em 2004 que esse termo passou-se a ser reconhecido como uma performance organizacional (ANH; CHANG, 2004). Hoje em dia, os pesquisadores já adotam o termo “Sistema de Gestão do Conhecimento” (HUANG *et al.*, 2014).

No momento em que a empresa necessita de uma nova tecnologia, ela tem opções a seguir. A primeira delas é utilizar e desenvolver o conhecimento através de seus próprios recursos. A segunda opção é adquirir o conhecimento e a tecnologia

de terceiros, os quais apresentam maiores oportunidades de um melhor resultado, assim como o esperado, pois estes já possuem o conhecimento necessário. Esta segunda opção é o processo que chamamos de Transferência de Tecnologia (TT).

A TT é uma importante ferramenta, a qual permite que uma empresa possa melhorar sua vantagem competitiva, seus benefícios financeiros e tecnológicos. Lee *et al.* (2010) aponta os benefícios de transferência de tecnologia nos processos de produção:

- Melhoria no processo de rendimentos;
- Melhoria nos produtos e serviços de design;
- Melhoria no design para o mercado;
- Padronização;
- Propriedades físicas do produto e características de desempenho;
- Capacidade de mudar de intermitente para os processos de fluxo de massa.

### 3.1 DEFINIÇÕES DE TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA E CONHECIMENTO

Schnepp *et al.* (1990) define a transferência de tecnologia como o processo pelo qual a experiência ou o conhecimento relacionado a algum aspecto da tecnologia é passado de um usuário para outro, com o objetivo de ganho econômico.

De acordo com Autio e Laamanen (1995), a transferência de tecnologia é uma interação intencional, orientada a objetivos, entre duas ou mais entidades sociais, durante as quais o conjunto de conhecimentos tecnológicos permanece estável ou aumenta através da transferência de um ou mais componentes da tecnologia.

Para Bozeman (2000), a definição de transferência de tecnologia pode coincidir com a definição de transferência de produção. Portanto, nem sempre é fácil distinguir os dois conceitos.

Bozeman (2000) ainda define TT como o processo que permite a passagem de uma tecnologia de uma organização (doadora) para outra organização empreendedora (receptora).

O processo de transferência de tecnologia é apresentado por uma gama de literatura sobre inovação, desenvolvimento, mudança de comportamento e desenvolvimento econômico (KARAKOSTA *et al.*, 2010).

Segundo Debackere *et al.* (2014) e Osabutey e Jin (2016), TT é definido como o processo de transferência ou disseminação de tecnologia desde sua origem para uma distribuição mais ampla, para mais pessoas e lugares. Ocorre em vários eixos: entre as universidades, das universidades às empresas, das grandes empresas às menores, dos governos às empresas, além das fronteiras, formal e informalmente.

Para Ismail, Hamzah e Bebenroth (2018), Transferência de Tecnologia é o processo onde se distribui tecnologias de seu local de origem para mais pessoas e lugares, sendo influenciados pelas características da informação.

Para as definições dadas, é possível perceber que em todas elas, a transferência de tecnologia envolve a aquisição de inovação a partir de uma fonte externa, bem como a partilha de conhecimento tecnológico de seus produtos ou processos. Percebe-se também que a Transferência de Tecnologia pode ser uma transferência de conhecimento.

Argote e Ingram (2000) definem Transferência de Conhecimento como “o processo pelo qual uma unidade (por exemplo, grupo, departamento ou divisão) é afetada pela experiência de outra”. Também se refere a uma troca diádica entre indivíduos, grupos ou organizações, na qual um destinatário pode entender, aprender e aplicar o conhecimento transmitido de uma fonte (HAMID; SALIM, 2011; ISMAIL, 2015).

### 3.2 O PROCESSO DE TT

A transferência de tecnologia é muitas vezes referida como um licenciamento, uma cooperação tecnológica. A transferência de tecnologia não é apenas uma maneira simples de negociação de tecnologia, mas também pode ser uma fonte de informações úteis. Através de transferência de tecnologia, a empresa pode melhorar a sua participação de mercado e o seu estado atual de tecnologia (PARK; LEE, 2011).

O conceito básico do processo de TT é o movimento da tecnologia de um lugar para o outro, seja ela em forma de produtos, conhecimento ou tecnologia. De acordo com Cormican e O'Connor (2009), a TT pode ocorrer das diferentes maneiras:

- Transferência de universidades e laboratórios de pesquisa para empresas industriais;
- Transferência dentro de uma organização, desde a pesquisa até à comercialização;
- Transferência de uma organização para outra;
- Transferência entre países;
- Transferência através da venda de produtos que incorporam a tecnologia;
- Transferência através de acordos contratuais, incluindo licenciamento, cooperação e partilha entre as empresas como parte de alianças estratégicas;
- Transferência de ativos tangíveis, tais como novos produtos, instalações e equipamentos;
- Transferir formas intangíveis por meio de mecanismos formais, tais como patentes e licenças;
- Transferência informal através do conhecimento e os fluxos de informação.

A transferência de tecnologia tem três tipos diferentes de cooperação tecnológica. Se uma tecnologia ou inovação é adquirida de uma fonte externa, é referido como *licensing-in*. Se o conhecimento ou a tecnologia é vendida ou doada para outras empresas é referido como *licensing-out*. A cooperação tecnológica não é apenas em uma direção, mas sim uma transferência de tecnologia bi-direcional (PARK; LEE, 2011).

Uma distinção importante na literatura sobre TT está entre transferência de tecnologia vertical e horizontal. Ambos são considerados importantes para o desenvolvimento econômico, e podem estar presentes juntos em uma organização. Em transferência de tecnologia horizontal, o conhecimento se difunde para os concorrentes, enquanto na transferência de tecnologia vertical, difunde conhecimento aos potenciais fornecedores de insumos (OCKWELL *et al.*, 2008).

- Transferência de tecnologia vertical: é a transferência de conhecimento tecnológico ou inovação, da pesquisa básica à avançada, desde a fase de P&D até a comercialização do produto (OCKWELL *et al.*, 2008; PARK; LEE, 2011).

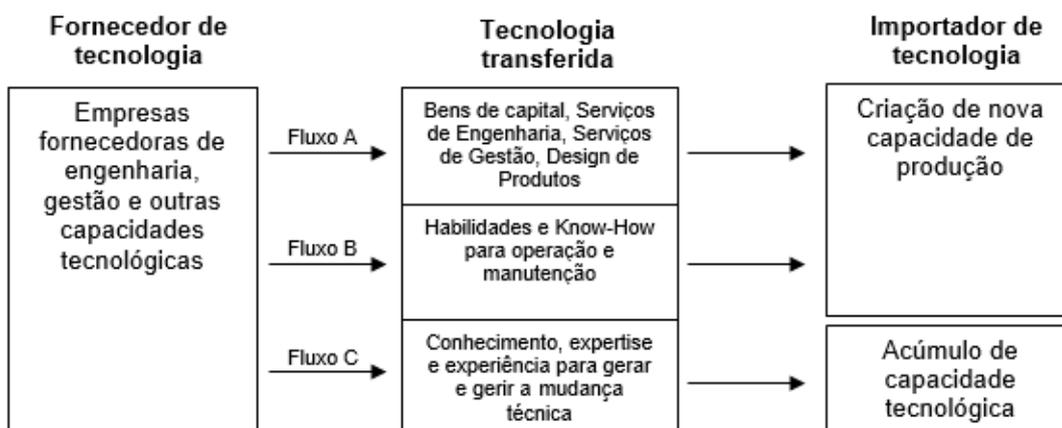
- Transferência de tecnologia horizontal: é a transferência de conhecimento tecnológico ou de inovação entre os projetos, organizações, indústrias e nações. É considerada como a transferência realizada a partir de uma localização geográfica para outra (OCKWELL *et al.*, 2008; PARK; LEE, 2011).

Segundo Mendoza e Sanchez (2018), existem três agentes principais em uma transferência de tecnologia. Sendo eles:

- O fornecedor de tecnologia: também conhecido como fornecedor, gerador ou transmissor. São geralmente universidades, organizações de pesquisa, centros tecnológicos, empresas com capacidade de pesquisa (P&D) e geração de conhecimento.
- O receptor da tecnologia: também chamado usuário, cliente, beneficiário ou cessionário, é a entidade que compra ou se beneficia da transferência de tecnologia. Geralmente são empresas com projetos de inovação tecnológica.
- Intermediário: conhecido como acelerador, facilitador, consultor ou difusor, são as pessoas (consultores, advogados) ou instituições de apoio (agências de desenvolvimento, fundações, associações, câmaras de comércio, estruturas de marketing institucionais, estruturas institucionais de marketing, escritórios de transferência de tecnologia (TTOs), escritórios com vínculos comerciais) de caráter público ou privado que apoiam fornecedores ou destinatários da TT.

Outro ponto importante no processo de TT, discutido por diversos autores (OCKWELL *et al.*, 2008; SHUJING, 2012; PUEYO *et al.*, 2011) são os três fluxos diferentes de transferência de tecnologia, do menor ao maior impacto sobre as capacidades tecnológicas do destinatário. A Figura 7 apresenta este fluxo:

Figura 7 - Conteúdo tecnológico da TT



Fonte: adaptado de Shujing (2012)

O primeiro fluxo inclui os bens de capital e equipamentos. Este fluxo aumenta a capacidade de produção do beneficiário, mas não permite que o destinatário utilize de forma eficiente os equipamentos importados ou gerem mudança tecnológica. O segundo fluxo inclui competências e *know-how* para a operação e manutenção de equipamentos. Ele coloca os recursos humanos do importador ao nível tecnológico necessário para operar de forma eficiente a tecnologia importada, mas sem esforços, não permite a mudança tecnológica. O terceiro fluxo abrange o conhecimento e experiência para gerar e gerir a mudança tecnológica. Ele cria nova capacidade tecnológica através da transferência de conhecimento, criação e inovação do destinatário (OCKWELL *et al.*, 2008; SHUJING, 2012; PUEYO *et al.*, 2011).

### 3.3 INTERAÇÃO UNIVERSIDADE-INDÚSTRIA

Uma das principais maneiras de transferir tecnologia é através da interação de universidades com as indústrias.

A função das universidades na sociedade do conhecimento como produtoras e transmissoras de conhecimento é cada vez mais importante, não apenas como instrutora de capital humano, mas também na condução e criação de invenções e inovações e resolução de problemas sociais (DUTRÉNIT *et al.*, 2010). Isso permite o uso, transferência e comercialização do conhecimento como parte de uma nova

missão (SIERRA; VILLAZUL, 2018).

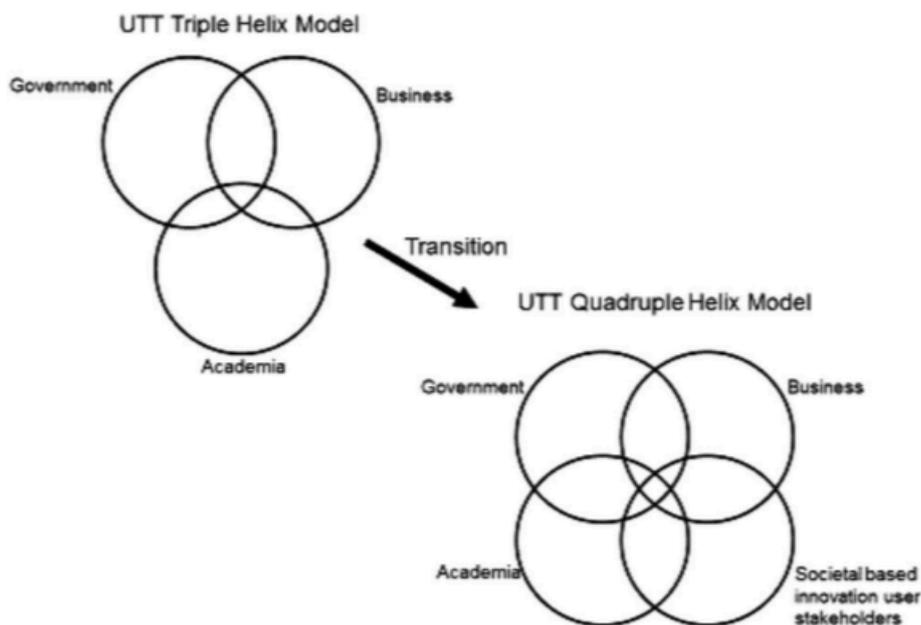
Com base em Debackere e Veulegers (2005), a colaboração universidade-indústria refere-se a diferentes tipos de interações entre indústria e setor científico, que têm o objetivo de trocar tecnologia. Os canais de interação envolvem a contratação de recém-licenciados, conferências, treinamento de pessoal, patentes, protótipos, licenciamento, incubadoras, spin-offs, empreendimentos conjuntos e cooperativos. No entanto, os mais comuns são os canais tradicionais, envolvendo publicações, conferências e consultoria (BARLETTA *et al.*, 2017; LEMOS; FERRAZ, 2017; DE FUENTES; DUTRÉNIT, 2012; TORRES *et al.*, 2011; ARVANITIS; KUBLI; WOERTER, 2008; ARVANITIS; SYDOW; WOERTER, 2008; BEKKERS; BODAS, 2008; ARZA, 2010; DUTRÉNIT; ARZA, 2010).

Um dos principais métodos para gerar essa transferência de conhecimento são os *spin-offs* da universidade. No campo comercial, o termo *spin-off* refere-se ao processo pelo qual uma empresa é criada a partir de outra entidade preexistente. A nova empresa resultante também é conhecida como *spin-off*. O termo serve para definir o processo em si e o resultado desse processo. No nível universitário, fala-se de um *spin-off* acadêmico ou universitário quando a empresa foi estabelecida dentro de uma instituição de ensino superior, colocando em prática o conhecimento gerado nesses centros por meio da atividade de P&D de acadêmicos (MIRANDA *et al.*, 2018).

Etzkowitz e Leydesdorff (2000), desenvolveram um modelo onde a colaboração entre três esferas institucionais (governo, academia e indústria) é considerada de importância crítica para melhorar o desenvolvimento econômico e social regional.

A inclusão da quarta hélice, que representa usuários de inovação baseados na sociedade (LEYDESDORFF, 2011; CARAYANNIS *et al.*, 2012) e o subsequente surgimento de estruturas em hélice quádrupla refletem a revisão de Bozeman *et al.* (2015), demonstrando a sua crescente importância. A Figura 8 apresenta a transição das estruturas de hélice tripla para quádrupla.

**Figura 8 - Transição das estruturas de hélice tripla para quádrupla**



**Fonte: Miller *et al.* (2018)**

Segundo Miller *et al.* (2018), nas últimas três décadas, a colaboração entre universidade, governo e indústria evoluiu consideravelmente. Essa evolução deve-se em parte a uma combinação de globalização e regionalização no desenvolvimento econômico (MCADAM *et al.*, 2012) com uma pressão crescente do governo sobre as universidades para assumir um papel mais proativo no desenvolvimento regional e social (GRIMALDI *et al.*, 2011).

A inclusão da quarta hélice (Inovação baseada na sociedade) reflete o desenvolvimento e a crescente complexidade e mudança dos sistemas econômicos modernos, o que sugere que a tripla hélice não é suficiente para garantir o crescimento sustentável a longo prazo (MACGREGOR *et al.*, 2010; IVANOVA, 2014).

De acordo com Agrawal (2001), é comumente aceito que as universidades são uma fonte importante de novos conhecimentos, especialmente nas áreas de ciência e tecnologia. Portanto, é importante construir uma imagem o mais clara possível dos mecanismos pelos quais a ciência universitária se move para a economia.

### 3.4 CANAIS E MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA

A transferência de tecnologia é realizada através de certos mecanismos. Karakosta *et al.* (2010) indicam que através desses mecanismos há transferência de habilidades, conhecimentos, e domínio do equipamento.

Autio e Laamanen (1995) fornecem uma definição de mecanismo de transferência: "um mecanismo de transferência de tecnologia é qualquer forma específica de interação entre duas ou mais entidades sociais durante as quais a tecnologia é transferida". Quando a interação é contínua entre as partes, é estabelecida uma conexão estável através da qual o conhecimento e a tecnologia fluem.

Para racionalizar o grande número de diferentes mecanismos, canais ou modos apresentados na literatura, foi utilizada a classificação proposta por Autio e Laamanen (1995). Os autores dividem os mecanismos de transferência em três categorias:

- Mecanismos de processo (serviço);
- Mecanismos de processo (modos organizacionais);
- Mecanismos de saída (resultados da pesquisa).

O Quadro 3 apresenta os mecanismos de transferência de tecnologia encontrados na revisão sistemática de literatura, divididos nessas três categorias.

**Quadro 3 - Mecanismos de Transferência de Tecnologia**

MECANISMOS DE TT	AUTORES
<b>MECANISMOS DE PROCESSO (SERVIÇO)</b>	
Treinamento; Desenvolvimento de Recursos Humanos	Bozeman (2000); Davenport e Prusak (2000); Szulanski (2000); Stephan (2001); Amesse e Cohendet (2001); Caputo <i>et al.</i> (2002); Argote <i>et al.</i> (2003); Cummings e Teng (2003); Lee, Win (2004); Huanca (2004); Siegel <i>et al.</i> (2004); Debackere, Veugelers (2005); Leloglu, Kocaoglan (2008); Hussler, Picard, Tang (2010); van der Gaast <i>et al.</i> (2009); Karakosta <i>et al.</i> (2009); Karakosta <i>et al.</i> (2010a); Flamos e Begg (2010); Karakosta <i>et al.</i> (2010b); Jason <i>et al.</i> (2010); Azam (2011); Baraki e Brent (2013); Blohmke (2014); Urban <i>et al.</i> (2015); Adenle et all. (2015); Corradini <i>et al.</i> (2016); Mulamula e Amadi-Echendu (2017); Verdolini e Bosetti (2017); Khan <i>et al.</i> (2017); George <i>et al.</i> (2017); Chege <i>et al.</i> (2019); Morgera e Ntona (2018); Lema <i>et al.</i> (2018); Eitzel <i>et al.</i> (2018); Bruckman <i>et al.</i> (2018).
Transferência de conhecimentos e <i>know how</i>	Siegel <i>et al.</i> (2004); Gerstlberger (2004); Ravindranath e Balachandra (2009); Lybæk e Andersen (2010); Flamos e Begg (2010); Parnphumeesup e Kerr (2011)Pinard (2013); Baraki e Brent (2013); Blohmke (2014); Urban <i>et al.</i>

	(2015); Mulamula e Amadi-Echendu (2017); Aggarwal e Aggarwal (2017); Basu (2018); Chege <i>et al.</i> (2019); Morgera e Ntona (2018); Li <i>et al.</i> (2018); Bliznets <i>et al.</i> (2018).
Intercâmbio de pessoal, pesquisadores ou profissionais	Lee, Win (2004); Khalozadeh <i>et al.</i> , (2011); Popp (2011); Eaton (2013); Makarewicz- Marcinkiewicz (2013); Blohmke (2014); Ignatavičius <i>et al.</i> (2015); Verdolini e Bosetti (2017); Manyuchi (2017); Basu (2018); Bliznets <i>et al.</i> (2018); Lema <i>et al.</i> (2018); Sarkodie e Strezov (2019).
Consultorias	Bozeman (2000); Stephan (2001); Caputo <i>et al.</i> (2002); Lee, Win (2004); Huanca (2004); Siegel <i>et al.</i> (2004); Debackere, Veugelers (2005); Khalozadeh <i>et al.</i> , (2011); Trencher <i>et al.</i> (2013); Vac e Fitiu (2017); Bliznets <i>et al.</i> (2018) .
Projetos de pesquisa em cooperação entre universidades e indústria	Bozeman (2000); Amesse, Cohendet (2001); Lee, Win (2004); Huanca (2004); Stephan (2001); Autio <i>et al.</i> (2004); Siegel <i>et al.</i> (2004); Debackere, Veugelers (2005); Looy <i>et al.</i> (2011).
Encontros para intercâmbio de informações	Cohen <i>et al.</i> (2002); Lee, Win (2004); Debackere and Veugelers (2005); Leloglu, Kocaoglan (2008); Hussler <i>et al.</i> (2010).
Demonstrações em laboratório	Bozeman (2000); Canestrino (2009).
Visitas e apresentações da empresa	Bozeman (2000); Canestrino (2009).
Eventos de <i>networking</i> e compartilhamento de recursos	Bozeman (2000); Canestrino (2009).
Estágio	Cohen <i>et al.</i> (2002).
Transferência de informação (via manuais, relatórios etc.)	Malik (2002).
<b>MECANISMOS DE PROCESSO (MODO ORGANIZACIONAL)</b>	
Redes interinstitucionais; Simbiose industrial	Bozeman (2000); Argote <i>et al.</i> (2003); Cummings, Teng (2003); Albors <i>et al.</i> (2005); Spalding-Fecher <i>et al.</i> (2005); van der Gaast <i>et al.</i> (2009); Lybæk, Andersen (2010); Flamos, Begg (2010); Karakosta <i>et al.</i> (2010a); Karakosta <i>et al.</i> (2010b); Gilsing <i>et al.</i> (2011); Kang, Park (2013); Agboola (2014); Kruckenberg (2015a); Kruckenberg (2015b); Urban <i>et al.</i> (2015); Tvaronavičienė, Černevičiūtė (2015); Mehta <i>et al.</i> (2016); Morgera, Ntona (2018); Bruckman <i>et al.</i> (2018); Li <i>et al.</i> (2018); Sarkodie, Strezov (2019)
Pesquisa e Desenvolvimento	Stock, Tatikonda (2000); Amesse, Cohendet (2001); Lee, Win (2004); Salicrup, Fedorkova (2006); Karakosta, Doukas, Psarras (2010); Murthi, Shoba (2010); Sugandhavanija <i>et al.</i> (2011); Liu <i>et al.</i> (2013); Baraki e Brent (2013); Pinard (2013); Urban <i>et al.</i> (2015); Mehta <i>et al.</i> (2016); Aggarwal e Aggarwal (2017); Li <i>et al.</i> (2018); Bliznets <i>et al.</i> (2018)
Colaborações com clientes ou fornecedores em conjunto atividades de	Bozeman (2000); Reisman (2005); Stock e Tatikonda (2000); Cummings e Teng (2003); Canestrino (2009); Ravindranath e Balachandra (2009); Lybæk e Andersen (2010); Karakosta <i>et al.</i> (2010a); Karakosta <i>et al.</i> (2010b); Agboola (2014); Kruckenberg (2015a); Kruckenberg (2015b); Urban <i>et al.</i> (2015); Tvaronavičienė e Černevičiūtė (2015); Mehta <i>et al.</i> (2016); Morgera e

desenvolvimento	Ntona (2018);
<i>Spin-offs</i>	Bozeman (2000); Rogers <i>et al.</i> (2000); Etkowitz; Leydesdorff (2000); Autio <i>et al.</i> (2004); Siegel <i>et al.</i> (2004); Canestrino (2009); Hussler <i>et al.</i> (2010); Murthi, Shoba (2010); Koumpis <i>et al.</i> (2010); Gilsing <i>et al.</i> (2011); Looy <i>et al.</i> (2011); Sánchez <i>et al.</i> (2012); Trencher <i>et al.</i> (2013); Vac, Fitiu (2017)
Parques tecnológicos	Hussler, Picard, Tang (2010); Lee, Win (2004); Petroni <i>et al.</i> (2013); Huanca (2004); Siegel <i>et al.</i> (2004); Stephan (2001); Agboola (2014); Kruckenberg (2015a); Kruckenberg (2015b); Urban <i>et al.</i> (2015); Ignatavičius <i>et al.</i> (2015); Tvaronavičienė e Černevičiūtė (2015); Morgera e Ntona (2018).
<i>Joint Venture</i>	Stephan (2001); Huanca (2004); Siegel <i>et al.</i> (2004); Schneider <i>et al.</i> (2008); Mohamed <i>et al.</i> (2010); Khalozadeh <i>et al.</i> (2011); Mohamed <i>et al.</i> (2012); Urban <i>et al.</i> (2015); Mehta <i>et al.</i> (2016); Bliznets <i>et al.</i> (2018)
Comprar tecnologias prontas	Stephan (2001); Lee, Win (2004); Huanca (2004); Siegel <i>et al.</i> (2004); Lovett <i>et al.</i> (2009); Flamos e Begg (2010); Mehta <i>et al.</i> (2016); Bliznets <i>et al.</i> (2018)
<i>Benchmarking</i>	Cohen <i>et al.</i> (2002); Debackere and Veugelers (2005); Leloglu, Kocaoglan (2008); Rasmussen, Rice (2011).
Alianças estratégicas	Amesse, Cohendet (2001); Cummings, Teng (2003).
<b>MECANISMOS DE SAÍDA (RESULTADOS DE PESQUISA)</b>	
Direito de Propriedade Intelectual	Bozeman (2000); Amesse, Cohendet (2001); Caputo <i>et al.</i> (2002); Lichtenthaler, Ernst (2007); Karakosta, Psarras (2009); Lovett <i>et al.</i> (2009); Flamos e Begg (2010); Karakosta, Doukas e Psarras (2010a); Azam (2011); Eaton (2013); Blohmke (2014); Tvaronavičienė e Černevičiūtė (2015); Adenle <i>et al.</i> (2015); Mehta <i>et al.</i> (2016); Verdolini e Bosetti (2017); Basu (2018); Bliznets <i>et al.</i> (2018) .
Licenciamento	Bozeman (2000); Fosfuri (2000); Lee, Win (2004); Debackere, Veugelers (2005); Schneider <i>et al.</i> (2008); Hussler <i>et al.</i> (2010); Sun <i>et al.</i> (2013); Silva <i>et al.</i> , (2013) ; Bozeman <i>et al.</i> (2015); Leloglu, Kocaoglan (2008); Eaton (2013); Makarewicz-Marcinkiewicz (2013); Mehta <i>et al.</i> (2016); Aggarwal e Aggarwal (2017); Vac e Fitiu (2017); Bliznets <i>et al.</i> (2018) .
Publicações	Davenport e Prusak (2000); Bozeman (2000); Amesse e Cohendet (2001); Cummings e Teng (2003); Caputo <i>et al.</i> (2002); Ferdows (2006); Gilsing <i>et al.</i> (2011); Trencher <i>et al.</i> (2013); Pinard (2013); Escalante <i>et al.</i> (2013).
Seminários; Conferências	Davenport, Prusak (2000); Bozeman (2000); Amesse, Cohendet (2001); Caputo <i>et al.</i> (2002); Cummings, Teng (2003); Ferdows (2006); Trencher <i>et al.</i> (2013); Pinard (2013); Belmonte <i>et al.</i> (2015); Eitzel <i>et al.</i> (2018).
Patentes	Gomes-Casseres <i>et al.</i> (2006); Hussler, Picard, Tang (2010); Gilsing <i>et al.</i> (2011); Looy <i>et al.</i> (2011); Park <i>et al.</i> (2013); Trencher <i>et al.</i> (2013); Shi e Lai (2013); Bliznets <i>et al.</i> (2018); Ferreira <i>et al.</i> (2018).
Demonstração de projetos bem-sucedidos	van der Gaast <i>et al.</i> (2009); Ravindranath e Balachandra (2009); Karakosta <i>et al.</i> (2010a); Karakosta <i>et al.</i> (2010b); Pearce <i>et al.</i> (2012);
Programas de educação contínua	Hussler <i>et al.</i> (2010).

Fonte: Autoria Própria (2021)

Existem mecanismos formais e informais de TT. Os mecanismos formais são aqueles que envolvem um instrumento legal, como patentes, licenças ou acordos de

*royalties*. Um mecanismo informal de transferência de tecnologia facilita o fluxo de conhecimento, mas por meio de um processo informal de comunicação, como assistência técnica, consultoria e pesquisa conjunta (LINK *et al.*, 2007).

Enquanto mecanismos formais são apropriados para capturar e transferir parte explícita da tecnologia, outras abordagens são necessárias para compartilhar o componente tácito, que é de natureza não-codificável. Simplesmente estudando manuais de operação do equipamento e outras documentações escritas, um comprador não pode capturar as verdadeiras capacidades do equipamento. O conhecimento tácito tem que ser transferido por meio da interação humana, como, a observação em primeira mão. Portanto, um bom relacionamento comprador-fornecedor e gestão do conhecimento são necessários para a transferência de tecnologia de equipamentos de alta tecnologia (LEE *et al.*, 2010).

Há também a diferença entre o mecanismo unidirecional (baseado na disseminação dos resultados da pesquisa) e os mecanismos bidirecionais, que envolvem desenvolvimento e serviço interativo. Além dessa divisão preliminar, os mecanismos do processo são divididos em "serviços" e "modos organizacionais" para enfatizar a diferença entre as atividades realizadas nas unidades existentes e a criação de estruturas organizacionais novas e apropriadas (BATTISTELLA *et al.*, 2016).

### 3.5 BARREIRAS NA TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA

Sendo a transferência de tecnologia um dos processos mais complexos de aprendizado, a transferência efetiva pode não ser possível até que todos os fatores (úteis conhecidos como "facilitadores" e dificultadores denominados "barreiras") relacionados a esse processo sejam bem explorados e compreendidos (SINGH; ABHISHEK, 2013). Barreiras à transferência de tecnologia também podem ser vistas como oportunidades de intervenção para que as tecnologias alcancem seu potencial pleno (SATHAYE *et al.*, 2001). Uma boa transferência de tecnologia pode permitir que uma organização melhore a produtividade de fabricação, a eficiência e adaptabilidade da aliança, a expansão internacional e a vantagem competitiva sustentável (LEE *et al.*, 2010).

Essas barreiras podem ser classificadas em várias categorias. Por exemplo,

Riege (2005) e Kukko (2013) agruparam as barreiras ao crescimento de uma organização em três categorias: indivíduos, organizações e tecnologia. Patil e Kant (2014) dividiram as barreiras em cinco categorias: estratégia, organização, tecnologia, cultura e pessoas. Nidhra *et al.* (2013) classificaram as barreiras de Transferência de Conhecimento em relação ao desenvolvimento global de software em três categorias: pessoal, projetos e tecnologia. Segundo Greiner e Franz (2003), essas barreiras são divididas basicamente em três grupos: barreiras técnicas, regulatórias ou políticas, e pessoal ou institucional. Este estudo aplicou as categorias desenvolvidas por Greiner e Franz (2003).

Após o estudo da bibliometria neste presente trabalho, todas as barreiras encontradas nos artigos, que se apresentam de maneira relevante, foram extraídas e divididas nos três grupos propostos por Greiner e Franz (2003). O Quadro 4 apresenta essas barreiras encontradas na TT.

**Quadro 4 - Barreiras da Transferência de Tecnologia**

	<b>BARREIRAS</b>	<b>AUTOR</b>
<b>Barreiras Técnicas</b>	Direito de propriedade intelectual	Dasgupta e Taneja (2011); Azam (2011); Karakosta <i>et al.</i> (2012); Correa (2013); Rai <i>et al.</i> (2014); Morgera e Ntona (2018)
	Risco de conflito de interesses	Gilsing <i>et al.</i> (2011); Van der Gaast <i>et al.</i> (2009); Karakosta <i>et al.</i> (2010a); Flamos <i>et al.</i> (2010); Karakosta <i>et al.</i> (2011); Parnphumeesup, Kerr (2011); Pearce <i>et al.</i> (2012); Khan <i>et al.</i> (2017)
	Risco técnico da nova tecnologia	Pérez, Sánchez (2003); Karakosta <i>et al.</i> (2009); Karakosta, Psarras (2009); Ravindranath e Balachandra (2009); Silva Jr. <i>et al.</i> (2013); Khan, Haleem e Husain (2017); Chege <i>et al.</i> (2019)
	Característica da tecnologia	Koefoed, Buckley (2008); Gallagher (2006); Flamos <i>et al.</i> (2010); Flamos (2010); Doukas <i>et al.</i> (2012); Torvanger <i>et al.</i> (2013); Blohmke (2014); Belmonte <i>et al.</i> (2015); Khan <i>et al.</i> (2017)
	Conhecimento científico ser demasiadamente geral para ser útil para a empresa	Gilsing <i>et al.</i> (2011); Ravindranath e Balachandra (2009); Karakosta <i>et al.</i> (2010a); Baraki e Brent (2013); Belman e Tzachor (2013); Vac e Fitiu (2017); Chege <i>et al.</i> (2019); Morgera e Ntona (2018)
	Infra-estrutura deficiente do mercado	Kennedy, Basu (2013); Ravindranath e Balachandra (2009); Jason <i>et al.</i> (2010); Adenle <i>et al.</i> (2015); Fasehun (2015); Mulamula e Amadi-Echendu (2017); Khan <i>et al.</i> (2017)
	Limitada capacidade industrial	Kennedy, Basu (2013); Karakosta e Psarras (2009); Flamos <i>et al.</i> (2010); Flamos (2010); Parnphumeesup e Kerr (2011); Mulamula e Amadi-Echendu (2017)

	Linguagem técnica conflitante	Lin, Berg (2001); Nasri <i>et al.</i> (2010); Pearce <i>et al.</i> (2012); Vac e Fitiu (2017); Manyuchi (2017); Eitzel <i>et al.</i> (2018); Chege <i>et al.</i> (2019)
	Aversão ao risco	Pérez, Sánchez (2003)
	Difusão lenta da tecnologia inovadora em mercados	Worrell <i>et al.</i> (2001)
	Falta de conhecimento técnico	Koefoed, Buckley (2008)
<b>Barreiras regulatórias ou políticas</b>	Alto custo de investimento em P&D / obtenção da tecnologia	Karakosta e Psarras (2009); Ravindranath e Balachandra (2009); Karakosta, Doukas e Psarras (2010a); Jason <i>et al.</i> (2010); Parnphumeesup e Kerr (2011); Karakosta, Doukas e Psarras (2011); Doukas <i>et al.</i> (2012); Kruckenberg (2015b); Mulamula e Amadi-Echendu (2017); Khan, Haleem e Husain (2017)
	Falta ou excesso de regulamentação / Legislação pouco clara	Flamos <i>et al.</i> (2010); Flamos (2010); Karakosta <i>et al.</i> (2011); Azam (2011); Parnphumeesup, Kerr (2011); Doukas <i>et al.</i> (2012); Escalante <i>et al.</i> (2013); Belman e Tzachor (2013); Silva Jr. <i>et al.</i> (2013); Blohmke (2014); Fasehun (2015); Urban <i>et al.</i> (2015); Mulamula e Amadi-Echendu (2017)
	Falta de recursos financeiros	Kennedy, Basu (2013); Koefoed, Buckley (2008); Flamos <i>et al.</i> (2010); Karakosta <i>et al.</i> (2010a); Flamos (2010); Jason <i>et al.</i> (2010); Doukas <i>et al.</i> (2012); Silva Jr. <i>et al.</i> (2013)
	Conflito de leis	Koefoed, Buckley (2008); Van Hoorebeek (2004)
	Diferenças exigenciais entre países	Lin, Berg (2001); Karakosta <i>et al.</i> (2010a); Dasgupta e Taneja (2011); Doukas <i>et al.</i> (2012); Karakosta <i>et al.</i> (2012)
	Recursos insuficientes dedicados à transferência de tecnologia das universidades	Siegel <i>et al.</i> (2003); O'Brien <i>et al.</i> (2007); Escalante <i>et al.</i> (2013); Belmonte <i>et al.</i> (2015); Urban <i>et al.</i> (2015); Khan <i>et al.</i> (2017)
	Instabilidade política	Jason <i>et al.</i> (2010); Kennedy, Basu (2013); Kruckenberg (2015b); Chege <i>et al.</i> (2019)
	Elevados custos de capital	Kennedy, Basu (2013); Ockwell <i>et al.</i> (2008); Liu, Liang (2011)
	Capacidades financeiras	Kennedy, Basu (2013); Karakosta <i>et al.</i> (2010a)
	Burocracia e inflexibilidade das universidades	Kennedy, Basu (2013); Siegel <i>et al.</i> (2003)
	Inadequados incentivos tarifários	Kennedy, Basu (2013)
	Alto custo da conformidade regulamentar	Kennedy, Basu (2013)
	Acesso limitado ao capital	Kathuria (2002)
Patentes muito demoradas	Van Hoorebeek (2004)	
<b>Barreiras pessoais ou institucionais</b>	Falta de competência e formação adequada	Jason <i>et al.</i> (2010); Karakosta <i>et al.</i> (2010a); Flamos (2010); Nhamo (2011); Doukas <i>et al.</i> (2012); Escalante <i>et al.</i> (2013); Blohmke (2014); Adenle, Azadi e Arbiol (2015); Urban <i>et al.</i> (2015); Mehta <i>et al.</i> (2016); Mulamula e Amadi-Echendu (2017); Khan <i>et al.</i> (2017); Morgera e Ntona (2018)

Falta de conhecimento da nova tecnologia	Pérez, Sánchez (2003); Karakosta e Psarras (2009); Jason <i>et al.</i> (2010); Flamos (2010); Nhamo (2011); Doukas <i>et al.</i> (2012); Blohmke (2014); Adenle <i>et al.</i> (2015); Urban <i>et al.</i> (2015); Mehta <i>et al.</i> (2016); Mulamula e Amadi-Echendu (2017); Khan <i>et al.</i> (2017); Morgera e Ntona (2018)
Falta de confiança	Pérez, Sánchez (2003); Karakosta e Psarras (2009); Van der Gaast <i>et al.</i> (2009); Karakosta, Doukas e Psarras (2009); Ravindranath e Balachandra (2009); Karakosta <i>et al.</i> (2010a); Flamos <i>et al.</i> (2010); Pearce <i>et al.</i> (2012); Doukas <i>et al.</i> (2012); Khan <i>et al.</i> (2017)
Resistência à mudança	Koefoed, Buckley (2008); Karakosta, Psarras (2009); Ravindranath e Balachandra (2009); Silva Jr. <i>et al.</i> (2013); Khan <i>et al.</i> (2017); Chege <i>et al.</i> (2019)
Diferença cultura entre as empresas	Lin, Berg (2001); Koefoed, Buckley (2008); Escalante <i>et al.</i> (2013); Belmonte <i>et al.</i> (2015); Mulamula e Amadi-Echendu (2017)
Falta de informação	Kennedy, Basu (2013); Worrell <i>et al.</i> (2001); Kathuria (2002); Koefoed, Buckley (2008); Ockwell <i>et al.</i> (2008)
Informações e feedbacks inadequados	Kennedy, Basu (2013); Blohmke (2014); Urban <i>et al.</i> (2015); Mehta <i>et al.</i> (2016); Lema e Lema (2016)
Distância geográfica e cultural	Lin, Berg (2001); Flamos <i>et al.</i> (2010); Karakosta <i>et al.</i> (2011); Pearce <i>et al.</i> (2012)
Escassez de instituições profissionais	Kennedy, Basu (2013); Blohmke (2014); Urban <i>et al.</i> (2015); Mulamula e Amadi-Echendu (2017)
Interações problemáticas das partes interessadas	Van Hoorebeek (2004)

Fonte: Autoria Própria (2021)

Segundo Greiner e Franza (2003), as barreiras técnicas são aquelas que estão presentes onde há uma nova tecnologia, mas por falta de conhecimento nunca foram aplicadas anteriormente. As barreiras regulatórias ou políticas envolvem leis e procedimentos governamentais. E por fim, as barreiras pessoais são aquelas que ocorrem quando as pessoas envolvidas não têm conhecimento técnico para com a tecnologia e nem vontade de adquirir esse conhecimento. Segundo o autor, esta última é a mais difícil de ser superada.

Uma maneira que essas barreiras sejam reduzidas e/ou eliminadas, é a utilização dos mecanismos de transferência de tecnologia. Sendo utilizados da maneira mais correta e eficaz possível, muitas dessas barreiras até aqui apresentadas podem ser reduzidas.

## 4 MODELOS DE MATURIDADE

Para medir o nível de desenvolvimento de uma indústria ou de alguns de seus processos, os modelos de maturidade são geralmente usados como uma ferramenta de suporte (SCHUMACHER *et al.*, 2016) que descreve as etapas para melhorar um certo processo, incorporando os componentes de cada nível e recomendações (PAULK, 2002).

Um modelo de maturidade (MM) é um conjunto estruturado de elementos que descreve um caminho evolutivo de melhoria de processos imaturos para processos maduros, eficazes e qualitativamente melhores. A maturidade pode ser capturada qualitativa ou quantitativamente de forma discreta ou contínua (KOHLEGGER *et al.*, 2009). Assim, os níveis de maturidade ajudam na avaliação e compreensão do estado atual da organização, fornecendo diretrizes para a melhoria contínua dentro da organização (KOSIERADZKA, 2017).

Os principais elementos de um modelo de maturidade são (ISO, 2015; Lasrado, 2018):

- (1) Dimensões: áreas de capacidade específicas, áreas de processo ou objetos de design que estruturam o campo de interesse. Cada dimensão é posteriormente especificada por uma série de medidas (práticas, objetos ou atividades) ou por descrições qualitativas para cada nível de maturidade.
- (2) Níveis de maturidade: representam estados de maturidade de uma determinada dimensão ou domínio. As características de cada nível devem ser distintas e empiricamente testáveis, e a relação de cada nível com seu predecessor e sucessor deve ser bem definida.
- (3) Ferramentas de avaliação: podem ser qualitativas ou quantitativas, por exemplo, usando questionários baseados em Likert e modelos de pontuação.
- (4) Condições Limite: Condições particulares que as organizações precisam cumprir para progredir de um nível a outro, são consideradas como a condição essencial de um determinado nível de maturidade.
- (5) Limites do estágio: ponto específico no qual a organização avança para o próximo nível.
- (6) Caminho para a maturidade: uma progressão linear e progressiva, na qual as organizações desenvolvem e melhoram suas capacidades, criação de valor, desempenho, etc., caminhando ao longo do caminho da maturidade.

Embora os termos *roadmaps*, modelos de maturidade, *frameworks* e / ou avaliações de prontidão possam parecer semelhantes, eles apresentam uma pequena diferença em suas definições:

- *Roadmaps* são "planos que correspondem a objetivos de curto e longo prazo com soluções tecnológicas específicas para ajudar a atingir esses objetivos" (GARCIA; BRAY, 1997).
- Modelos de maturidade são modelos que ajudam um indivíduo ou entidade a atingir um nível de maturidade mais sofisticado (ou seja, habilidade) em pessoas / cultura, processos / estruturas e / ou objetos / tecnologias, seguindo um processo passo a passo de melhoria contínua (METTLER, 2011).
- *Frameworks* são coleções de procedimentos, métodos e ferramentas coerentes para arquitetar (ou seja, projetar e projetar) um sistema (STOREY, 2005).
- Avaliações de prontidão são ferramentas de avaliação para analisar e determinar o nível de preparação das condições, atitudes e recursos, em todos os níveis de um sistema, necessários para alcançar seu (s) objetivo (s) (BENEDICT *et al.*, 2017).

#### 4.1 MODELOS DE MATURIDADE DE I4.0

Na literatura existente, ainda são poucas as propostas com relação aos modelos de maturidade para a implementação da Indústria 4.0. Esses modelos são um guia para a implementação da Indústria 4.0, a fim de mitigar interpretações errôneas.

Na revisão de literatura realizada, foram encontrados 34 artigos que apresentaram modelos de maturidade na I4.0. Porém, 10 deles se mostraram mais relevantes para a pesquisa, se enquadrando melhor à proposta e apresentando um InOrdinato (Ver seção 6.1) superior aos demais.

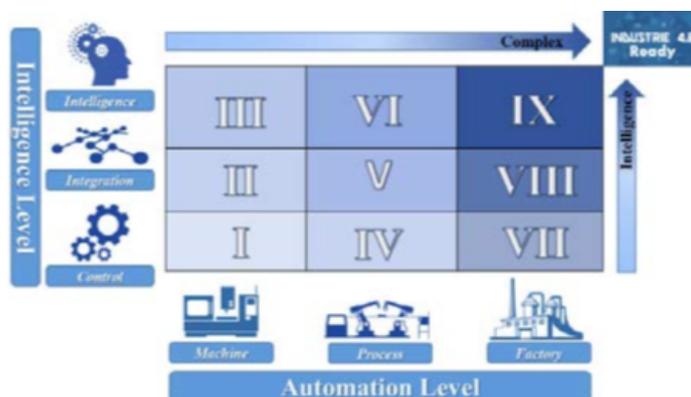
A seguir, os resumos de cada um desses 10 modelos selecionados são apresentados. Após discuti-los individualmente, na Seção 5.3 é apresentado um quadro comparativo, com o objetivo de obter uma visão mais clara do comportamento de cada modelo (Quadro 9).

*MM1. A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond (Qin; Liu, 2016)*

No modelo de Qin e Liu (2016), o autor afirma que o sistema de produção pode ser dividido em três níveis de automação: máquina, processo de produção e sistema de fábrica. Combinando o nível de inteligência com o nível de engenharia, uma estrutura hierárquica (Figura 9) é gerada com um total de nove aplicativos de inteligência, com três tecnologias de nível de inteligência atuando nas três seções do nível de engenharia. Esses nove aplicativos vão de baixa inteligência e automação simples a alta inteligência e automação complexa.

Dos aplicativos I ao IX, o sistema de produção se torna cada vez mais automatizado, flexível e inteligente. É necessário saber que os altos e as tecnologias de atuação de alto nível se baseiam no nível baixo, o que significa que essa estrutura funciona em sequência. A aplicação IX é considerada como a implementação da indústria 4.0.

**Figura 9 - Modelo de Maturidade de Qin e Liu (2016)**



Fonte: Qin e Liu (2016)

*MM2. A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises ( Schumacher et al., 2016)*

O Modelo de Maturidade da Indústria 4.0 de Schumacher *et al.* (2016) visa a uma extensão dos modelos e ferramentas existentes por meio de seu forte foco nos aspectos organizacionais. Os autores buscaram transformar os conceitos abstratos de fabricação inteligente em itens que podem ser medidos em ambientes reais de produção.

Para facilitar diferentes análises da maturidade da Indústria 4.0, o modelo proposto inclui um total de 62 itens de maturidade, agrupados em nove dimensões da empresa. O quadro 5 fornece uma visão geral das dimensões, juntamente com alguns itens exemplares para melhor entendimento.

**Quadro 5 - Dimensões e itens de maturidade do modelo de Schumacher et al. (2016)**

<b>Dimensão</b>	<b>Exemplo de item de maturidade</b>
Estratégia	Implementação de Roadmap I4.0, Recursos disponíveis para realização, Adaptação de modelo de negócios...
Liderança	Vontade dos líderes, Gestão de competências e métodos, Existência de coordenação central para I4.0,...
Clientes	Utilização de dados dos clientes, Digitalização de vendas/serviços, Competência em mídia digital do cliente,...
Produtos	Individualização dos produtos, Digitalização dos produtos, Interação dos produtos em outros sistemas,...
Operações	Descentralização do processo, Modelagem e simulação, Interdisciplinaridade,...
Cultura	Transferência de conhecimento, Inovação-aberta, Valor de ICT na empresa,...
Pessoas	Competências de ICT dos empregados, Abertura dos funcionários a novas tecnologias, Autonomia dos funcionários,...
Governança	Regulamentos trabalhistas para I4.0, Adequação de padrões tecnológicos, Proteção de propriedade intelectual, ...
Tecnologia	Existência de TIC modernas, Utilização de dispositivos móveis, Utilização de comunicação máquina a máquina, ...

**Fonte: Schumacher et al. (2016)**

O caminho da evolução de cada item passa por cinco níveis de maturidade, onde o nível 1 descreve uma completa falta de atributos que suportam os conceitos do Setor 4.0 e o nível 5 representa o estado da arte dos atributos necessários.

A avaliação da maturidade dentro de uma empresa é realizada usando um questionário padronizado que consiste em uma pergunta fechada por item. Cada pergunta requer uma resposta para uma escala do tipo Likert, que vai de 1 "não distinto" a 5 "muito distinto".

*MM3. Industrie 4.0 Maturity Index - Managing the Digital Transformation of the Companies. (SCHUH et al. 2017)*

Schuh et al. (2017) consideraram a “digitalização” como um facilitador para a Indústria 4.0 e desenvolveram um índice de maturidade com a ajuda de uma metodologia de quatro estágios.

O índice de maturidade considerou seis estágios de desenvolvimento que são: (1) informatização, significando a instalação de computadores (e sistemas de informação) que darão suporte a tarefas com sistemas de processamento de dados

e aliviarão os funcionários de atividades manuais repetitivas; (2) conectividade, referindo-se à conexão desses computadores e sistemas de processamento de dados para dar suporte aos principais processos de negócios; (3) Visibilidade, criando uma sombra digital do que está acontecendo em tempo real na fábrica e apoiando a decisão de gerenciamento com dados; (4) Transparência, permitindo visualizar eventos e entender a causa raiz do seu acontecimento; (5) Previsibilidade, construção sobre o entendimento do estágio Transparência e avançar para planejar e tomar decisões com base em cenários futuros; e (6) Adaptabilidade, incluindo a resposta autônoma de máquinas e outros sistemas com base em sua capacidade preditiva.

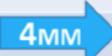
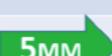
É importante destacar que os estágios de informatização e conectividade estão mais relacionados aos objetivos da era da indústria 3.0, enquanto a jornada da indústria 4.0 começa na fase de maturidade da visibilidade. Além disso, quatro áreas-chave, cada uma com duas subdimensões, foram avaliadas em cada estágio de maturidade: (a) recursos (capacidade digital e comunicação estruturada), (b) sistemas de informação (processamento de informações de auto-aprendizagem e sistema de informações integração), (c) estrutura organizacional (organização interna orgânica e colaboração dinâmica dentro da rede de valor); e (d) cultura organizacional (disposição para mudar e colaboração social).

O objetivo do artigo foi definir um índice de maturidade que possa avaliar o estágio atual da Indústria 4.0 da organização e encontrar as medidas, que podem levá-los a um estágio de maturidade mais alto. Também foi enfatizada a ideia de uma visão personalizada da Indústria 4.0 para uma empresa.

#### *MM4. Three Stage Maturity Model in SME's towards Industry 4.0 (Ganzarain; Errasti, 2016)*

No Modelo de Ganzarain e Errasti (2016), foi definido a seguinte escala de maturidade para o modelo de processo de três estágios: (1) Inicial: não existe uma visão específica do setor 4.0 da empresa; (2) Gerenciado: existe um roteiro da estratégia da indústria 4.0; (3) Definido: segmentos de clientes, proposição de valor e principais recursos definidos; (4) Transformação: Transforma a estratégia em projetos concretos; (5) BM Detalhada: Transformação do Modelo de Negócios. (Figura 10)

Figura 10 - Modelo de Maturidade de Ganzarain e Errasti (2016)

	V 	B 	A 
	ENVISION	ENABLE	ENACT
<b>1MM</b> 	It doesn't exist a company specific industry 4.0 vision		
<b>2MM</b> 	Tailored Industry 4.0 Vision 	Customer segments and customer expectation defined	Portfolio projects without prioritize
<b>3MM</b> 	Develop its understanding I4.0 with specific capabilities and resources	Customer segments and expectation defined and value proposition defined	Projects evaluated and resource and collaboration needed identified
<b>4MM</b> 	Opportunity map described in I4.0	Customer segments and expectation, VPM and technologies/resources defined	Actual and Future portfolio Project detailed
<b>5MM</b> 	Future challenges by the I4.0 		

Fonte: Ganzarain e Errasti (2016)

O estágio *Vision 4.0* é dedicado a definir uma visão personalizada da Indústria 4.0, desenvolvendo seu próprio entendimento das ideias gerais da I4.0 com recursos e capacidades específicas da empresa. Nesta fase, especialistas externos e parceiros tecnológicos estão envolvidos para mostrar resultados relevantes e melhores práticas, e para apoiar o processo de construção da visão da Indústria 4.0. O resultado desse estágio é uma visão personalizada da empresa para um futuro estado final, apoiando os desafios futuros proclamados pela nova revolução industrial.

No estágio *Enable*, a empresa parte de uma visão substancial da Indústria 4.0 e, com base nessa visão, tenta definir o portfólio de tecnologia e os recursos necessários para dar suporte às novas soluções de serviço de produto identificadas no estágio anterior. O *Roadmap 4.0* facilitará o processo de planejamento e alinhamento da estratégia para visualizar e estruturar as diferentes estratégias. Existem quatro perspectivas estratégicas: mercado, produto, processo e rede de valor. O resultado desse estágio (*Enact*) é um mapa oportuno e com várias perspectivas da estratégia geral em direção à visão da Indústria 4.0.

*MM5. Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM (Gökalp et al. 2017)*

A estrutura da Industry4.0-MM é formada com base na ISO / IEC 15504 - também denominado como melhoria de processo de software e eliminação de

capacidade (SPICE). O objetivo dos autores foi criar uma base comum para avaliar o estabelecimento de tecnologias da Indústria 4.0 e apresentar os resultados da avaliação usando uma escala de classificação comum. No entanto, em vez da dimensão do processo de SPICE, foi atribuída a dimensão Aspecto, que pode ser vista na Figura 11.

Figura 11 - Modelo de Maturidade de Gokalp et al. (2017)



Fonte: Gökalp et al. 2017

É difícil identificar os limites do processo de transformação na Indústria 4.0. Além da transformação de processos, outras dimensões como infraestrutura, sistemas de informação, dados e organização, bem como sua integração, são críticas no estabelecimento da Indústria 4.0. Conseqüentemente, um novo arranjo de processos e práticas da Indústria 4.0 é executado para integrá-los sob definições abstratas significativas e compatíveis, conhecidas como “Aspectos”.

Na dimensão de aspecto, os aspectos são definidos e classificados em categorias como Gerenciamento de ativos, Governança de dados, Gerenciamento de aplicativos, Transformação de processos e Alinhamento organizacional. A dimensão da capacidade é definida por níveis de capacidade e indicadores de capacidade. A dimensão de capacidade é adotada a partir do SPICE, tem 6 níveis, de “Nível 0: Incompleto” a “Nível 5: Otimizando”.

*MM6. Smart Factory Implementation and Process Innovation (Sjodin et al., 2018)*

Sjodin *et al.* (2018) revelou três princípios gerais subjacentes a uma implementação bem-sucedida de I4.0: *Cultivar “pessoas digitais”; Introduzir processos ágeis; Configurar tecnologia modular.*

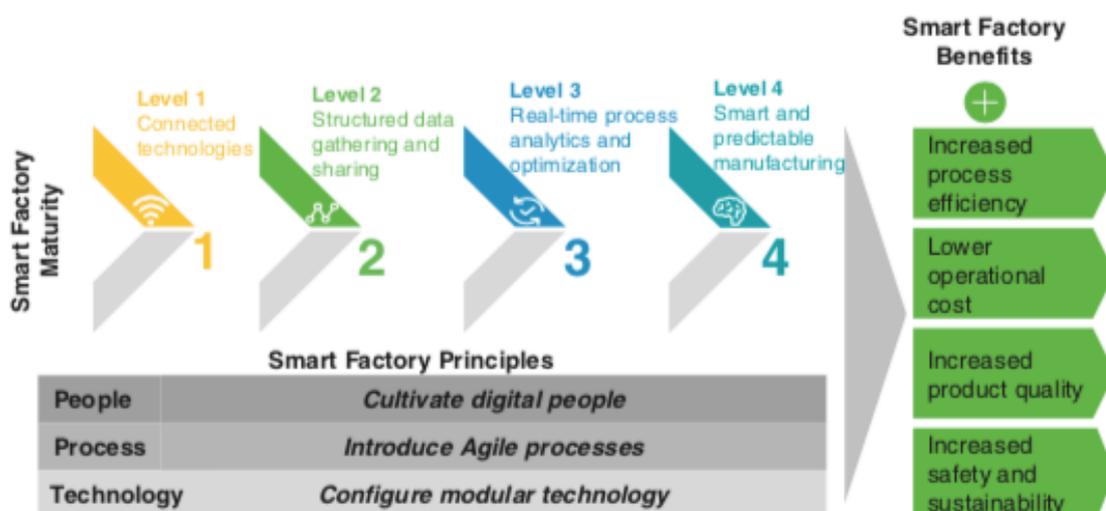
Dentro dessas três áreas - pessoas, processos e tecnologia - os dados de entrevistas identificaram atividades-chave que sustentam o desenvolvimento de recursos inteligentes de fábrica; essa estrutura se ajusta às dimensões definidas por estudos anteriores sobre gerenciamento de mudanças. Os autores categorizaram essas atividades principais por nível de maturidade para criar um modelo de maturidade de fábrica inteligente (Quadro 7). A Figura 12 apresenta esse modelo proposto pelos autores.

**Quadro 6 - Modelo de Maturidade de Sjodin *et al.* (2018)**

<b>Nível de Maturidade</b>	<b>Pessoas Cultivar pessoas digitais</b>	<b>Processos Introduzir processos ágeis</b>	<b>Tecnologia Configurar tecnologia modular</b>
Nível 4. Previsível Smart Manufacturing	Criar uma cultura de inovação contínua de fábrica inteligente. Criar funções e responsabilidades especializadas voltadas para a produção previsível.	Desenvolver processos para integrar a visualização de dados na tomada de decisões. Criar processos proativos para prever e planejar a produção futura.	Criar sistemas para monitorar e visualizar análises operacionais críticas. Integrar informações do sistema digital de parceiros externos para permitir a previsibilidade da cadeia de suprimentos.
Nível 3. Análise e otimização de processos em tempo real	Organizar sessões de sentido com fornecedores, usuários e outras partes interessadas. Recrutar analistas de dados e cientistas de dados para otimizar a produção.	Usar a análise de insight e a interpretação dos dados para otimizar os processos operacionais. Criar processos para avaliar oportunidades de otimização.	Implementar sistemas para análise de desempenho em tempo real. Implementar sistemas de simulação para testar, prototipar e otimizar a fábrica digital.
Nível 2. Coleta e compartilhamento estruturados de dados	Educar as pessoas a desenvolver a capacidade de explorar sistemas de dados conectados. Revisar as funções da equipe de produção para coordenar proativamente as idéias digitais e o compartilhamento de conhecimento.	Criar processos especializados de mineração de insights para dar suporte à coleta de informações entre departamentos. Criar redes de digitalização multifuncionais para facilitar o compartilhamento de conhecimento.	Aumentar a precisão da coleta de dados da tecnologia. Criar processos automatizados para mineração de dados e compartilhamento entre funções.
Nível 1. Tecnologias conectadas	Criar uma cultura inclusiva para implementação, envolvendo a força de trabalho no desenvolvimento da visão.	Formalizar os processos de implementação de fábrica inteligente híbrida. Criar processo para envolver atores externos no desenvolvimento da plataforma conectada.	Aplicar uma lente digital para mapear as tecnologias novas e existentes. Conectar aplicativos tecnológicos existentes para criar fluxo de dados.

Fonte: Sjodin *et al.* (2018)

Figura 12 - Modelo de Maturidade de Sjodin et al. (2018)



Fonte: Sjodin et al. (2018)

#### MM7. Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy (AKDIL et al. 2018)

Akdil et al. (2018) propuseram um modelo de maturidade da Indústria 4.0 com quatro níveis de maturidade e três amplas dimensões. Os níveis considerados são ausência (nível 0 - os requisitos do setor 4.0 não são atendidos), existência (nível 1 - a utilização da empresa de integração, automação, coleta de dados, tecnologias digitais, interoperabilidade etc. está em um nível muito baixo), sobreviveu (nível 2 - utilização da empresa pela integração, compartilhamento de dados, interoperabilidade, etc. estão em nível médio) e maturidade (nível 3 - utilização da empresa pela integração, compartilhamento de dados, interoperabilidade, etc., está em um nível alto).

Além disso, Akdil et al. (2018) reconheceram vários princípios e tecnologias para a indústria 4.0. Assim, três dimensões (produtos e serviços inteligentes, processos de negócios inteligentes e estratégia e organização) e seus correspondentes níveis de maturidade (nível 0-3) foram definidos neste modelo com a ajuda de um conjunto de características-chave. Finalmente, um instrumento baseado em pesquisa foi utilizado para encontrar o nível de maturidade e uma demonstração do setor de varejo foi apresentada.

MM8. Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises - A new methodology to analyze the functional and physical architecture of maturity model for manufacturing enterprises

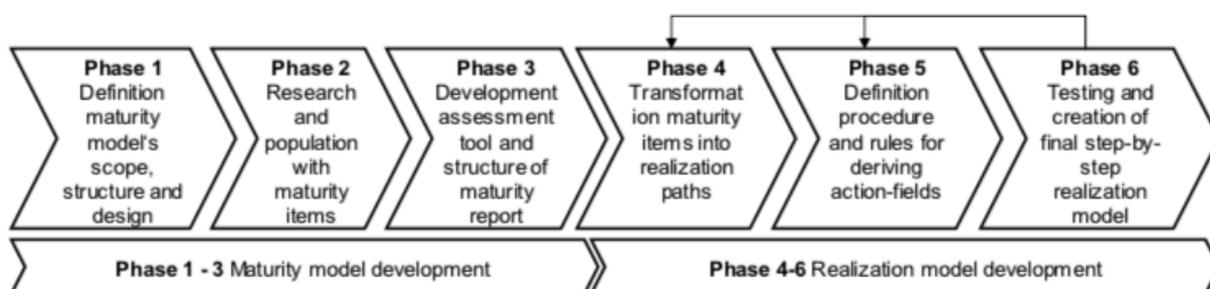
(Schumacher et al., 2019)

Para o desenvolvimento do modelo de maturidade de Schumacher et al. (2019), foram derivados os três requisitos principais a seguir, que o novo modelo deveria atender:

- Operacionalização dos conceitos abstratos da indústria 4.0 (como sistema ciber-físico, sistemas embarcados ou integração vertical / horizontal), pois os profissionais têm problemas para aplicar e avaliar esses conceitos em sua empresa;
- Definição e descrição de cada nível de maturidade para cada item de maturidade separadamente, como classificações muito extensas entre os entrevistados ao usar escalas genéricas (por exemplo, escalas de Likert) sem referência clara;
- Transformação dos resultados da maturidade em um relatório de maturidade, incluindo a interpretação dos autores / especialistas dos resultados da avaliação, pois as empresas têm problemas ao derivar as próximas etapas de gráficos e diagramas independentes devido à complexidade e novidade dos tópicos.

A seguinte abordagem de desenvolvimento foi seguida, segundo a qual as fases 1-3 concentram-se no desenvolvimento do modelo de maturidade e as fases 4-6 no desenvolvimento do modelo final de realização (Figura 13).

**Figura 13 - Modelo de Maturidade de Schumacher et al. (2019)**



**Fonte: Schumacher et al. (2019)**

O terceiro requisito para o novo modelo marca o ponto de partida para as fases de desenvolvimento 4-6, nas quais os itens de maturidade estão relacionados e sequenciados logicamente entre si para criar caminhos de realização do setor 4.0.

Portanto, foram atribuídos os itens de maturidade para três grupos relacionados a três fases de realização na Indústria 4.0:

- Ativar: contém itens de maturidade que constroem as bases para a realização da Indústria 4.0, como sensores em máquinas ou a disposição dos funcionários de usar as ICTs modernas.
- Implementar: contém itens de maturidade que capturam a aprovação dos conceitos do setor 4.0, como a análise dos dados coletados ou a realização de treinamentos de funcionários.
- Formalizar: contém itens de maturidade que ajudam a sustentar os estados-alvo na Indústria 4.0, como padrões tecnológicos definidos ou processos de informação digital dentro da empresa.

Ao inserir relações lógicas entre os 65 itens de maturidade, dependendo da ordem cronológica necessária na qual as empresas devem direcionar esses itens, foi criado um roteiro de realização genérico para o setor 4.0 (Figura 12 - Fase 4). Na fase 5, foi definido um procedimento passo a passo e um conjunto de regras para usar os resultados da avaliação de maturidade da empresa para o seu desenvolvimento. Finalmente, na fase 6, todos os métodos, ferramentas e etapas necessárias resultantes são formalizados no modelo de realização Industry 4.0.

*MM9. A Maturity Model for Logistics 4.0: An Empirical Analysis and a Roadmap for Future Research (Facchini et al. 2020)*

O modelo proposto foi desenhado para oferecer medidas que possam ser traduzidas em um conjunto de diretrizes ou soluções recomendadas para a Logística 4.0. A mesma sublinha a necessidade de gerenciar todo o conjunto de fluxos de materiais e informações. Nesse sentido, os autores identificaram três dimensões principais, caracterizadas por áreas de avaliação dedicadas:

- (1) Gerência: Investimentos, gestão de inovações, integração de cadeias de valor.
- (2) Fluxo de materiais: Grau de automação e robotização em warehouse e transporte, Internet das coisas, impressão 3D, digitalização 3D, materiais avançados, realidade aumentada, produtos inteligentes.

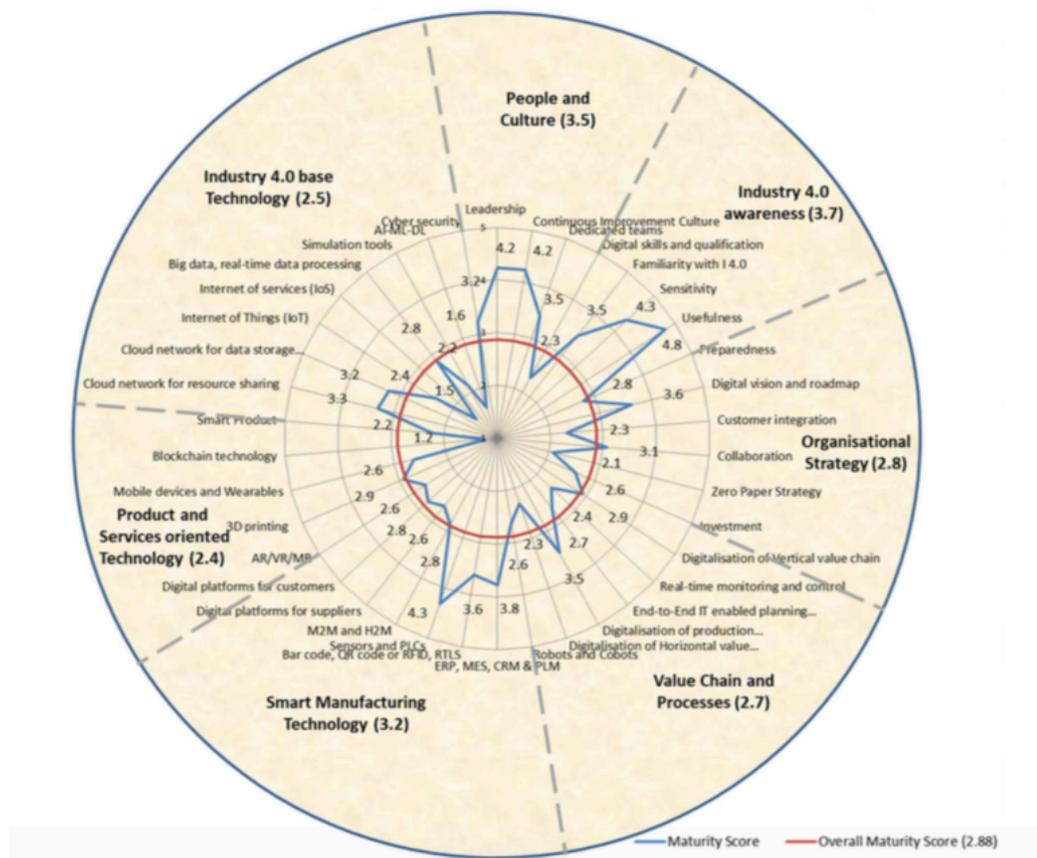
(3) Fluxo de informação: Serviços baseados em dados, Big data (captura e uso de dados), RFID, RTLS (sistemas de localização em tempo real), sistemas de TI (ERP, WMS, sistemas em nuvem).

Essas três dimensões podem ser usadas para avaliar a maturidade e a consciência das soluções da Indústria 4.0 para uma transição da Logística 4.0. Os níveis de maturidade são cinco: o primeiro nível identifica a ausência de qualquer capacidade de Logística 4.0 e o quinto nível identifica a implementação e integração completa de soluções de Logística 4.0.

*MM10. Development of maturity model for assessing the implementation of Industry 4.0: learning from theory and practice (Wagire et al., 2020)*

Wagire *et al.* (2020) realizaram um modelo de maturidade da Indústria 4.0 que é empiricamente fundamentado e centrado na tecnologia para avaliar o nível de maturidade das organizações de manufatura indianas. O modelo é composto por 7 dimensões e 38 itens de maturidade. 'Pessoas e cultura', 'conscientização da indústria 4.0', 'estratégia organizacional', 'cadeia de processos e processos', 'tecnologia de fabricação inteligente', 'tecnologia orientada para produtos e serviços' e 'tecnologia de base da indústria 4.0' são as dimensões compreendidas na modelo de maturidade para avaliar o nível de maturidade da organização. Os itens e dimensões da maturidade são priorizados com base em seus níveis de importância resolvidos usando o Processo de Hierarquia Analítica Difusa (FAHP). O modelo é testado, validado e implementado em cinco empresas de manufatura indianas. A figura 14 apresenta o modelo desenvolvido pelos autores, e como ficou o resultado de uma das empresas em que o mesmo foi aplicado.

Figura 14 - Modelo de Maturidade de Wagire et al. (2020)



Fonte: Wagire et al. (2020)

## 4.2 MODELOS DE MATURIDADE DE TT

Em termos de Transferência de Tecnologia e Conhecimento, são mais escassos ainda os modelos de maturidade existentes, quando comparados a I4.0.

Na revisão de literatura realizada, foram encontrados 16 artigos na busca de modelos de maturidade de TT. Porém, somente 7 deles realmente apresentam um modelo de maturidade condizente com o presente estudo. Esses 7 artigos foram classificados de acordo com seu InOrdinato (Ver seção 6.1), sendo MM1 o que apresenta um maior índice, e MM7 o que apresenta o menor.

A seguir, os resumos de cada um desses 7 modelos selecionados são apresentados. Após discuti-los individualmente, na Seção 5.3 é apresentado um quadro comparativo, com o objetivo de obter uma visão mais clara do comportamento de cada modelo (Quadro 10).

*MM1. A practice-based maturity model for hostile TTO performance management: development and initial use (Kreiling e Bounfour, 2019)*

Este artigo apresenta o desenvolvimento e o uso inicial de um modelo de maturidade baseado na prática para organizações de transferência de tecnologia (TTOs). A intenção não é comparar os TTOs, mas descobrir se há uma ligação entre a maturidade das práticas de TTO e recursos organizacionais, competências e contexto, bem como produção e resultados. Com base em um framework conceitual para a medição holística do desempenho de TTO, o modelo foi refinado e validado com gerentes de TTO. Ele oferece uma nova maneira para os ETTs determinarem a maturidade de suas práticas em seis áreas: 'percepção e aproveitamento de oportunidades', 'abrangência de fronteiras', 'tradução e combinação', 'co-criação e desenvolvimento', 'gestão de mudança cultural' e 'Gestão do conhecimento'. Essas áreas correspondem a seis recursos de TTO que são avaliados com 44 declarações de prática.

O modelo foi desenvolvido em seis etapas. As etapas um e dois (identificação dos textos e fontes de dados adequados, leitura e categorização) correspondem à revisão da literatura realizada. A identificação dos conceitos e sua categorização foi objeto das fases três e quatro. A etapa cinco foi a definição dos níveis de maturidade, e a etapa seis a validação do modelo.

*MM2. Knowledge sharing maturity model for Jordanian construction sector (Arif et al., 2017)*

O modelo de Arif *et al.* (2017) tem como foco a análise da maturidade da Transferência de Conhecimento no setor de construção. Para o desenvolvimento do modelo foram consideradas as relações e as interações entre as variáveis culturais. O impacto das variáveis foi incorporado aos três níveis de maturidade. O primeiro nível identifica que a variável quase não existe nas práticas de transferência de conhecimento da empresa. O segundo nível mostra as técnicas ocasionais que a empresa usa para aumentar as atividades de transferência de conhecimento. O nível final demonstra a importância da variável em afetar a transferência de conhecimento como sendo fundamentalmente arraigada na visão, missão, estratégia e operações da empresa. As variáveis são apresentadas no Quadro 7.

**Quadro 7 - Variáveis do Modelo de Maturidade de Arif et al. (2017)**

Variáveis de Gestão	<b>Motivação:</b> Como a empresa motiva os funcionários a compartilhar conhecimento?
	<b>Compromisso da gerência:</b> como os gerentes de topo apoiam práticas de compartilhamento de conhecimento para fornecer um ambiente adequado para as práticas de KS no local de trabalho?
	<b>Comportamento da liderança:</b> Como os líderes se comportam para incentivar e apoiar os funcionários a compartilhar conhecimento?
	<b>Distância do poder:</b> Até que ponto os membros de uma sociedade aceitam que o poder nas instituições e organizações é e deve ser distribuído de maneira desigual.
	<b>Prevenção da incerteza:</b> o grau em que os membros de uma sociedade se sentem desconfortáveis com a incerteza e a ambiguidade e apóia crenças que prometem dimensões que afetarão o compartilhamento de novas informações entre os membros da empresa.
	<b>Estrutura organizacional:</b> divisão de tarefas entre funcionários, grupos ou departamentos e locais individuais. Para controlar o trabalho de uma entidade, são adotados métodos e medidas processuais que apóiam as atividades de KS.
	<b>Após o refinamento: Forma organizacional (empresa familiar):</b> como os membros da família na empresa afetam as atividades de compartilhamento de conhecimento e como os funcionários reagem com eles em termos de troca de conhecimento?
Variáveis de Comunicação	<b>Autonomia:</b> A extensão em que um indivíduo ou grupo de indivíduos tem liberdade, independência e discricção para determinar quais ações são necessárias e qual a melhor forma de executá-las, e como esse tipo de liberdade afeta as atividades de KS na empresa.
	<b>Antes do refinamento: relacionamentos entre funcionários (fora da empresa):</b> as atividades sociais que os funcionários realizam fora da empresa para fortalecer a conexão entre eles para aumentar o KS e a função da empresa dão suporte a essas atividades.
	<b>Tecnologia de comunicação:</b> a quantidade de tecnologia de comunicação que a empresa fornece para aumentar o KS entre funcionários, como laptop, telefone, fax, PC e internet.
	<b>Networking:</b> a interação entre grupos de pessoas que compartilham um interesse comum; usando contatos sociais para a rede. Usando grupos de redes da Internet para conectar-se e comunicar-se entre si, para um acesso mais rápido e fácil à troca de informações.
	<b>Diferenças de gênero:</b> concentra-se no grau em que a sociedade reforça ou não reforça o modelo de trabalho masculino tradicional de conquista, controle e poder masculino, que afeta as mulheres no compartilhamento de conhecimento.
	<b>Realizações coletivas:</b> Concentra-se no grau em que a sociedade reforça conquistas coletivas e relacionamentos interpessoais.
Variáveis de Confiança	<b>Confiança mútua entre funcionários</b>
	<b>Após o refinamento: relações entre funcionários (fora da empresa):</b> as atividades sociais que os funcionários realizam fora da empresa para fortalecer a conexão entre eles para aumentar o KS e o papel da empresa apoiar essas atividades.
	<b>Antes do refinamento: Forma organizacional (empresa familiar):</b> como os membros da família na empresa afetam as atividades de compartilhamento de conhecimento e como os funcionários reagem com eles em termos de troca de conhecimento?

Fonte: Arif et al. (2017)

*MM3. A mechanism for sharing best practices between university technology transfer offices (De Beer et al., 2017)*

O modelo de De Beer et al. (2017) chama-se Modelo de Maturidade Melhorada (*Improved Maturity Model - IMM*), e é uma aprimoração do modelo de maturidade proposto por Secundo et al. (2016). Este modelo tem como objetivo formalizar um mecanismo através do qual as melhores práticas possam ser identificadas e compartilhadas de forma mais eficaz entre os TTOs.

O Modelo de Maturidade Melhorada (IMM) é apresentado para refletir o

verdadeiro desempenho e as características do TTO. Cada nível de maturidade fornece uma descrição das características associadas a esse nível que podem ser usadas pelo TTO. Assim, é possível tomar decisões estratégicas sobre como melhorar determinadas áreas e sustentar o processo de tomada de decisão com mais eficiência. Após a auto-avaliação de cada área de eficiência, um TTO poderá então se concentrar em indicadores intangíveis específicos que mostram fragilidades em sua eficiência e podem atingir uma maturidade mais alta. Os estágios definidos, gerenciados e integrados são divididos em estágios inicial e final para destacar as diferentes características dos TTOS nesses níveis de transição.

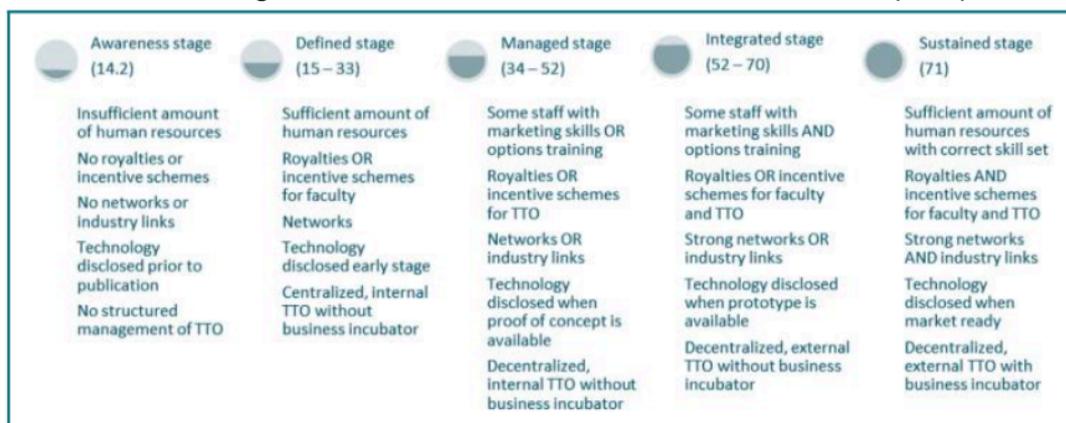
*MM4. Measuring university technology transfer efficiency: a maturity level approach (Secundo et al., 2016)*

O Modelo de Maturidade é inspirado no Modelo de Berkley (PM) 2, que permite que uma organização determine pontos fortes e fracos e se concentre em práticas fracas para alcançar maior maturidade. O processo de hierarquia analítica difusa é adotado para determinar as prioridades e pesos dos indicadores não monetários por serem ambíguos.

O Modelo de Maturidade para medir a eficiência do TTO abrange as seguintes áreas de eficiência: estratégia e política de propriedade intelectual; design e estrutura da organização; recursos humanos; tecnologia; links da indústria; e *networking*. O modelo fornece um contexto teórico ao longo do qual o processo de maturidade pode ser desenvolvido de forma incremental no TTO de um nível para o outro, passando da conscientização, definição, gerenciamento, integração e sustentação.

Cada nível de maturidade, fornece uma descrição das características associadas a esse nível que podem ser usadas pelo TTO para tomar decisões estratégicas sobre como melhorar determinadas áreas e sustentar o processo de tomada de decisão com mais eficiência.

**Figura 15 - Modelo de Maturidade de Secundo et al. (2016)**



Fonte: Secundo et al. (2016)

*MM5. Maturity measurement of knowledge-intensive business processes (Sinha et al., 2011)*

O modelo de maturidade de Sinha et al. (2011) tem como foco analisar o conhecimento entre empresas, e para PMEs medirem e avaliarem a qualidade de seus processos de negócios.

O modelo de maturidade proposto categoriza seus indicadores em sete áreas principais de processo (KPA), a maioria das quais é derivada do modelo EFQM. São elas: liderança, política e estratégias, parceria e recursos, design de processos, transferência e design de conhecimento, funcionários, sistema de informação e duas áreas específicas do processo. Cada KPA recebe vários fatores de sucesso que consistem em conhecimento, processo e indicadores orientados à qualidade. O KPA específico do processo tem seus próprios fatores de sucesso e pode ser expandido à vontade.

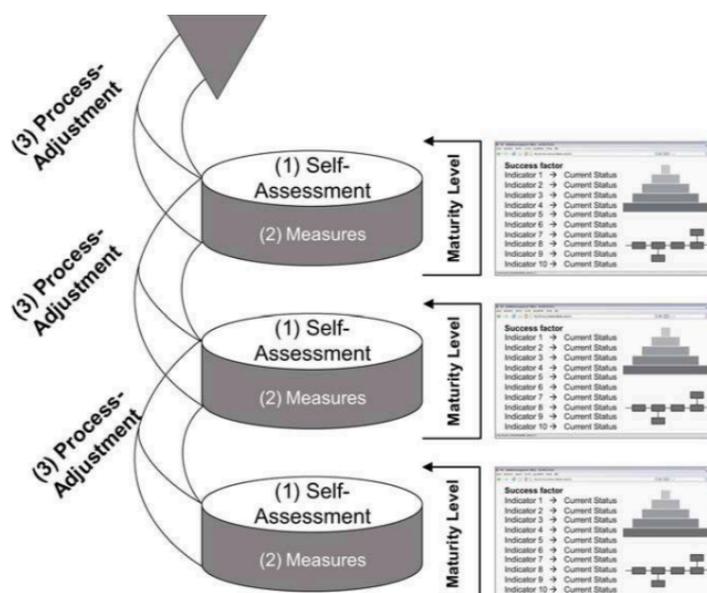
O modelo de maturidade é derivado das abordagens estabelecidas existentes e distingue cinco níveis diferentes: (1) Inicial: processo intensivo em conhecimento, com caráter não formal / espontâneo em relação ao desenho do processo e manuseio do conhecimento; (2) Repetido: processo intensivo de conhecimento proativo com caráter não formal / relacionado ao pessoal em relação ao design do processo e ao manuseio do conhecimento; (3) Definido: processo intensivo de conhecimento estabelecido com um caráter formal; (4) Gerenciado: processo intensivo de conhecimento controlado, com caráter formalizado e comprovado; (5) Otimizado: processo intensivo de conhecimento sustentável; projeto de processo otimizado e orientado à qualidade com melhoria contínua.

O resultado da determinação do nível de maturidade permite que as PME derivem ações de melhoria para o desenvolvimento de habilidades em relação ao manuseio do conhecimento e ao design de processos orientados à qualidade.

As seguintes fases iterativas mostram a prática do modelo de maturidade proposto:

- Auto-avaliação. Os participantes do processo analisam um conjunto de instruções definidas e expõem suas estimativas adequadamente.
- Identificação de medidas para melhorar. Durante a discussão no curso da análise do possível aprimoramento do catálogo de declarações, as responsabilidades e os prazos correspondentes das medidas são documentados.
- Implementação das ações de melhoria identificadas. As melhorias identificadas são implementadas e as mudanças apropriadas são feitas no processo. Após essa fase, uma auto-avaliação periódica (Fase 1) deve ser realizada para que o processo esteja em conformidade com o conceito de melhoria contínua do processo.

Figura 16 - Modelo de Maturidade de Sinha et al. (2011)



Fonte: Sinha et al. (2011)

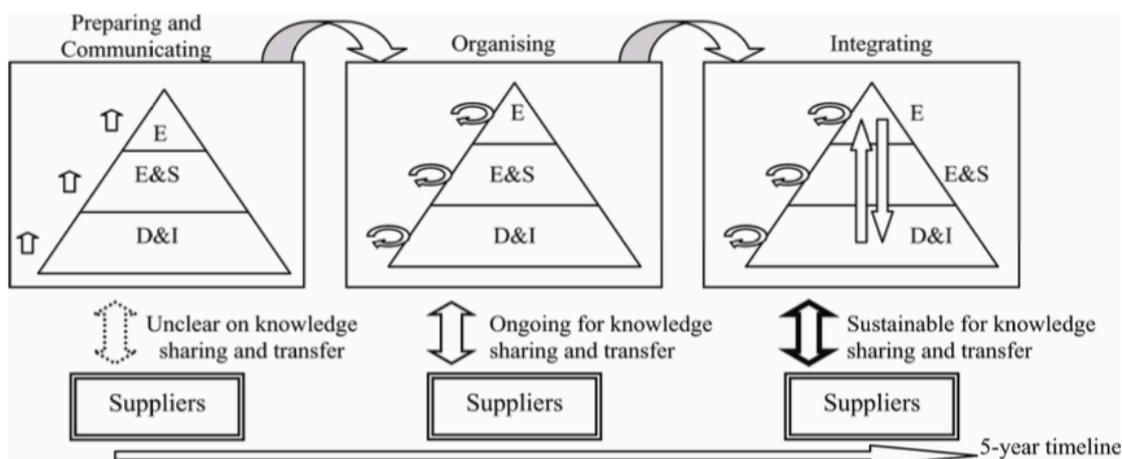
MM6. Roadmap for knowledge sharing and transfer: sustaining outsourcing relationships (Phusavat; Kess, 2008)

O modelo de Phusavat e Kess (2008) tem como objetivo desenvolver um roteiro elaborado para auxiliar no processo de planejamento das atividades de transferência de conhecimento.

No modelo há um total de três estágios principais, com base no tratamento de compartilhamento e transferência de conhecimento para fornecedores. Eles são: (1) preparação e comunicação com equipes, (2) organização, e (3) integração.

No estágio inicial, o foco está na preparação da empresa em termos de trabalho, atividades e tarefas específicas a serem realizadas para iniciar o compartilhamento e a transferência de conhecimento. Na sua perspectiva, é essencial que atualizações e comunicações constantes com as equipes sejam feitas com clareza. A próxima etapa é organizar esses trabalhos, atividades e tarefas. Finalmente, é crucial que atividades / práticas / tarefas entre as camadas de conhecimento estejam integradas a um processo de gerenciamento. Eles devem ser rotineiramente e regularmente realizados de maneira simultânea. O feedback e o progresso são explicitamente contidos nos relatórios da gerência.

**Figura 17 - Modelo de Maturidade de Phusavat e Kess (2008)**

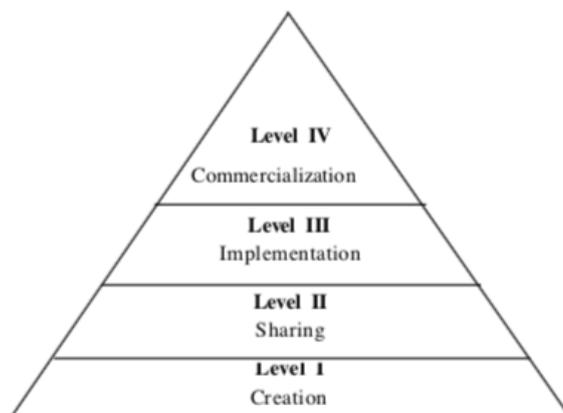


**Fonte: Phusavat e Kess (2008)**

*MM7. Knowledge and Technology Transfer: Levels and Key Factors (Sung e Gibson, 2000)*

Sung e Gibson (2000) desenvolveram um modelo onde são apresentados quatro níveis de Conhecimento e Transferência de Tecnologia: Criação (Nível I), Compartilhamento (Nível II), Implementação (Nível III) e Comercialização (Nível IV).

**Figura 18 - Níveis de KTT de Sung e Gibson (2000)**



**Fonte: Sung e Gibson (2000)**

A literatura abrangente identifica dezesseis variáveis que afetam o processo e os resultados da transferência de conhecimento e tecnologia. Os resultados da pesquisa mostram quatro fatores-chave na transferência de conhecimento e tecnologia: Comunicação, Distância, Equivocidade e Motivação.

A comunicação se refere ao grau em que um meio é capaz de transmitir de forma eficiente e precisa informações e mídias relevantes para a tarefa, enquanto a distância envolve proximidade física e cultural. A equivocidade se refere ao grau de concretude do conhecimento e da tecnologia a ser transferido, enquanto a motivação envolve incentivos e o reconhecimento da importância das atividades de transferência de conhecimento e tecnologia.

#### 4.3 ANÁLISE DOS MODELOS DE MATURIDADE

Após os modelos terem sido estudados individualmente, foi realizado um quadro comparativo com todos eles. Nesse quadro é possível analisar o contexto principal de cada modelo, os níveis de maturidade e dimensões presentes em cada um deles. O Quadro 8 apresenta os modelos de maturidade de I4.0.

**Quadro 8 - Modelos de Maturidade de I4.0**

<b>Modelo</b>	<b>Autor</b>	<b>Contexto da pesquisa</b>	<b>Níveis de Maturidade</b>	<b>Dimensões</b>
MM1	Qin <i>et al.</i> (2016)	Framework dos níveis de automação para I4.0	9 níveis de maturidade, analisando a inteligência e complexidade.	6 dimensões: (1) Inteligência, (2) Integração, (3) Controle, (4) Máquina, (5) Processo de Produção, (6) Sistema de Fábrica
MM2	Schumacher <i>et al.</i> (2016)	Modelo de Maturidade de I4.0 para empresas manufatureiras	5 níveis de maturidade: (1) completa falta de atributos que suportam os conceitos 4.0; (5) estado da arte dos atributos necessários	9 dimensões: (1) estratégia, (2) liderança, (3) clientes, (4) produtos, (5) operações, (6) cultura, (7) pessoas (funcionários), (8) governança e (9) tecnologia.
MM3	Schuh <i>et al.</i> (2017)	Modelo de Maturidade de I4.0 para empresas manufatureiras	6 níveis de maturidade: (1) informatização, (2) conectividade, (3) visibilidade, (4) transparência, (5) capacidade preditiva, (6) adaptabilidade.	4 dimensões: (1) recursos, (2) sistemas de informação, (3) estrutura organizacional e (4) cultura organizacional.
MM4	Ganzarain; Errasti (2016)	Modelo de Maturidade de I4.0 para PME	5 níveis de maturidade: (1) Inicial, (2) Gerenciado, (3) Definido, (4) Transformação, (5) BM Detalhada.	As dimensões não são apresentadas no artigo.
MM5	Gokalp <i>et al.</i> (2017)	Modelo de Maturidade de I4.0 para empresas manufatureiras	6 níveis de maturidade: (0) Incompleto, (1) Realizado, (2) Gerenciado, (3) Estabelecido, (4) Previsível, (5) Otimizando.	5 dimensões: (1) Gestão de ativos, (2) Gestão de dados, (3) Gerenciamento de aplicativos, (4) Alinhamento organizacional, (5) Transformação de processo.
MM6	Sjödin <i>et al.</i> (2018)	Modelo de Maturidade de I4.0 para PME	4 níveis de maturidade: (1) tecnologias conectadas, (2) coleta e compartilhamento estruturados de dados, (3) análise de processos em tempo real, (4) previsível Smart Manufacturing	3 dimensões: (1) Pessoas, (2) Processos, (3) Tecnologias.
MM7	Akdil <i>et al.</i> (2018)	Modelo de Maturidade de I4.0 para empresas manufatureiras	4 níveis de maturidade: (0) ausência, (1) existência, (2) sobreviveu e (3) maturidade.	3 dimensões: (1) produtos e serviços inteligentes, (2) processos comerciais inteligentes e (3) estratégia e organização.
MM8	Schumacher <i>et al.</i> (2019)	Roadmap para I4.0 em empresas	3 níveis de maturidade: (1) Ativar, (2) Implementar, (3)	As dimensões não são apresentadas no artigo.

			Formalizar.	
MM9	Facchini <i>et al.</i> (2020)	Modelo de Maturidade para Logística 4.0	5 níveis de maturidade: (1) ignorando, (2) definindo, (3) adotando, (4) gerenciando, (5) integrando	3 dimensões: (1) Gerência, (2) Fluxo de Material, (3) Fluxo de Informação
MM910	Wagire <i>et al.</i> (2020)	Modelo de Maturidade de I4.0 para empresas manufatureiras	5 níveis de maturidade: (1) leigo, (2) novato digital, (3) com experiência, (4) especialista.	7 dimensões: (1) pessoas e cultura, (2) conscientização da I4.0, (3) estratégia organizacional, (4) cadeia de processos, (5) tecnologia de fabricação inteligente, (6) tecnologia orientada para produtos e serviços, (7) tecnologia de base da I4.0.

Fonte: Autoria própria (2021)

Os modelos de maturidade de I4.0 analisados são bem diferentes uns dos outros. Cada um deles segue uma linha de raciocínio e dem como meta objetivos diferentes. Alguns focam em Pequenas e Médias Empresas, outros na maturidade da tecnologia necessária em I4.0, e outros ainda na maturidade da I4.0 como um todo. Apenas um deles apresenta uma ligação com Transferência de Tecnologia e Conhecimento, sendo o MM6 que apresenta uma dimensão de Gestão do Conhecimento. Mas nenhum dos artigos apresenta um modelo onde o foco é em I4.0 e TT. O Quadro 9 apresenta os modelos de maturidade de Transferência de Tecnologia e Conhecimento.

**Quadro 9 - Modelos de Maturidade de KTT**

Modelo	Autor	Contexto da pesquisa	Níveis de Maturidade	Dimensões
MM1	Kreiling, Bounfour (2019)	Transferência de Tecnologia nos TTOs	5 níveis: (1) B-Inicial, (2) B-Gerenciado, (3) A-Definido, (4) AA-Generalizado, (5) AAA-Avançado.	5 dimensões: (1) Recursos e competências, (2) Parâmetros organizacionais, (3) Práticas genéricas, (4) Produção, (5) Resultados
MM2	Arif <i>et al.</i> (2017)	Transferência de Conhecimento	3 níveis: (1) quase não existe, (2) técnicas ocasionais que a empresa usa, (3) TC fundamental.	3 dimensões: (1) variáveis de gestão, (2) variáveis de comunicação, (3) variáveis de confiança.
MM3	Beer <i>et al.</i> (2017)	Transferência de Tecnologia nos TTOs	8 níveis: (1) consciência, (2) definido inicialmente, (3) definido final, (4) gerenciado inicialmente, (5) gerenciado final, (6) integrado inicialmente, (7) integrado final, (8) sustentado.	6 dimensões: (1) Recursos Humanos, (2) Estratégia e Políticas, (3) Networking, (4) Links Universidade-Indústria, (5) Tecnologia, (6) Design e estrutura da organização.
MM4	Secundo <i>et al.</i> (2016)	Transferência de Tecnologia nos TTOs	5 níveis: (1) consciência, (2) definido, (3) gerenciado, (4) integrado, (5) sustentado.	6 dimensões: (1) Recursos Humanos, (2) Estratégia e Políticas, (3) Networking, (4) Links Universidade-Indústria, (5) Tecnologia, (6) Design e estrutura.
MM5	Jochem <i>et al.</i> (2011)	Conhecimento entre empresas	5 níveis: (1) inicial, (2) repetido, (3) definido, (4) gerenciado, (5) otimizado.	7 dimensões: (1) liderança, (2) política e estratégias, (3) parceria e recursos, (4) design de processos, (5) transferência e design de conhecimento, (6) funcionários, (7) sistema de informação.
MM6	Phusavat; Kess (2008)	Transferência de Conhecimento	3 níveis: (1) preparação e comunicação, (2) organização, (3) integração	2 dimensões: (1) conhecimento explícito, (2) conhecimento tácito
MM7	Sung, Gibson (2000)	Níveis de Conhecimento e Transferência de Tecnologia	4 níveis: (1) Criação, (2) Compartilhamento, (3) Implementação, (4) Comercialização.	4 dimensões: (1) Comunicação, (2) Distância, (3) Equivocidade, (4) Motivação

Fonte: Autoria própria (2021)

Percebe-se a pouca quantidade de trabalhos referentes à modelos de maturidade de Transferência de Tecnologia e Conhecimento. Desses, três têm como foco principal a transferência de conhecimento, e três a transferência de tecnologia em TTOs. Um deles apresenta os níveis de Conhecimento e Transferência de Tecnologia. Assim, é possível concluir as semelhanças existentes entre eles e a forte lacuna na literatura: não existe um modelo que se possa medir a maturidade das empresas em relação à todos os componentes que agregam a Transferência de Tecnologia e Conhecimento.

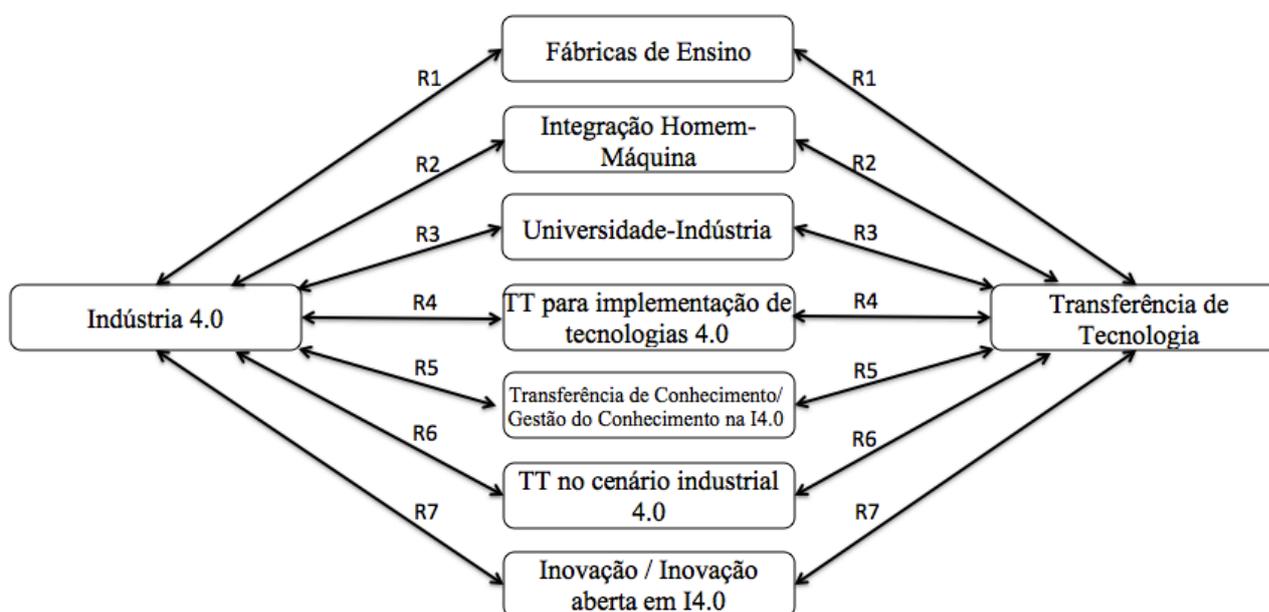
## 5 A TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA NA INDÚSTRIA 4.0

A Transferência de Tecnologia pode ocorrer de diversas maneiras. Uma distinção importante na literatura sobre TT está entre transferência de tecnologia vertical e horizontal. Ambos são considerados importantes para o desenvolvimento econômico, e podem estar presentes juntos em uma organização. Em transferência de tecnologia horizontal, o conhecimento se difunde para os concorrentes, enquanto na transferência de tecnologia vertical, difunde conhecimento aos potenciais fornecedores de insumos (OCKWELL *et al.*, 2008).

A Indústria 4.0 é um tema novo e importante para as organizações. Muitas empresas estão implementando essas novas tecnologias pertencentes a essa nova revolução industrial. Uma maneira de facilitar esse processo de implementação da Indústria 4.0 nas organizações, é utilizar atividades e mecanismos de Transferência de Tecnologia (DA SILVA *et al.*, 2019). Essa relação pode ser de diversas maneiras, e é fundamental entender como ela pode acontecer.

Portanto, baseando-se na revisão de literatura realizada, foram classificadas as diferentes maneiras em que a relação entre Indústria 4.0 e Transferência de Tecnologia pode ocorrer. Foram encontradas oito diferentes relações (R1-R8), apresentadas na Figura 19.

Figura 19 - Relações entre Indústria 4.0 e Transferência de Tecnologia



Fonte: Autoria própria (2021)

## 5.1 FÁBRICAS DE ENSINO

Essas transformações que estão ocorrendo na sociedade moderna geram um desafio adicional para a educação. Os futuros funcionários precisarão de várias habilidades para lidar com essa nova realidade da indústria e da sociedade (MAIA *et al.*, 2017). A Indústria 4.0 propaga a ideia de trabalhadores que cada vez mais se concentrarão em atividades criativas, inovadoras e comunicativas. Além disso, trabalho com soluções complexas de problemas, pensamento sistêmico e habilidades sociais. Nas habilidades sociais está sob consideração a persuasão, a inteligência emocional, as habilidades de ensino e a aprendizagem ativa (LANZA *et al.*, 2015).

O desenvolvimento de Fábricas de Ensino (*Learning Factories*) é um conceito crítico na reindustrialização da Europa. Segundo Bedolla *et al.* (2017), os países mais industrializados estão financiando programas nacionais e internacionais para promover a integração das tecnologias capacitantes da Industry 4.0 nos ambientes de produção.

As Fábricas de Ensino oferecem um ambiente realista de sistemas de produção pelo uso de seus equipamentos técnicos. Além disso, as melhorias e modificações do processo podem ser testadas com segurança durante os processos de produção. Portanto, as fábricas de aprendizagem oferecem uma grande oportunidade para treinamentos e preparação de estudantes para o uso da Indústria 4.0 (KRÜCKHANS *et al.*, 2016) e devem estar intimamente ligados aos sistemas de produção ciberfísicos (ABELE *et al.*, 2015).

## 5.2 INTERAÇÃO HOMEM-MÁQUINA

Além dos desenvolvimentos da indústria em direção à digitalização da manufatura, o impulso tecnológico da Indústria 4.0 força as organizações a adotarem um comportamento adaptativo, levando-as a novos processos de gerenciamento promovidos por evoluções no aprendizado. O setor 4.0 afetará a maneira como as empresas relacionadas à gestão de recursos humanos e às tendências humanas são consideradas (LIBONI *et al.*, 2019).

Bahrin *et al.* (2016) identificam a interconexão de seres humanos, objetos e

sistemas, o que leva a sistemas dinâmicos de valor otimizados e auto-organizados em tempo real como um dos componentes críticos da Indústria 4.0. Os trabalhadores agregam muito valor aos processos de inovação e aprendizado organizacional. O sistema de fabricação moderno é considerado uma composição de componentes ciber-físicos, cibernéticos e humanos, e a IoT é usada como elemento de conexão para integração (THRAMBOULIDIS; CHRISTOULAKIS, 2016).

Essa interconexão do homem com os objetos e sistemas da I4.0, chama-se de Interface Homem-Máquina (IHM). Essa relação é caracterizada pela proximidade do relacionamento entre o sistema e os operadores humanos, que podem compartilhar o mesmo espaço de trabalho. De acordo com essa visão, a integração de agentes humanos é considerada desde o estágio inicial do projeto do sistema artificial e das entidades que irão interagir com eles. Além disso, a capacidade e os limites do ser humano são considerados e equilibrados com os do sistema. Isso corresponde a um design centrado no ser humano (BERDAL *et al.*, 2018).

De acordo com Sivathanu e Pillai (2018), as organizações precisarão alinhar suas estratégias e práticas de Gestão de Recursos Humanos (GRH) com a Indústria 4.0, incluindo tópicos como emprego na força de trabalho e desenvolvimento de habilidades. Nesse sentido, certas habilidades digitais podem ser necessárias no futuro da Indústria 4.0, como resolução de problemas, tarefas não rotineiras e criação de saídas digitais (DJUMALIEVA; SLEEMAN, 2018).

### 5.3 UNIVERSIDADE-INDÚSTRIA

Uma das principais maneiras de transferir tecnologia é através da interação de universidades com as indústrias.

A função das universidades na sociedade do conhecimento como produtoras e transmissoras de conhecimento é cada vez mais importante, não apenas como instrutora de capital humano, mas também na condução e criação de invenções e inovações e resolução de problemas sociais (DUTRÉNIT *et al.*, 2010). Isso permite o uso, transferência e comercialização do conhecimento como parte de uma nova missão (SIERRA; VILLAZUL, 2018).

Com base em Debackere e Veulegers (2005), a colaboração universidade-indústria refere-se a diferentes tipos de interações entre indústria e setor científico,

que têm o objetivo de trocar tecnologia. Os canais de interação envolvem a contratação de recém-licenciados, conferências, treinamento de pessoal, patentes, protótipos, licenciamento, incubadoras, spin-offs, empreendimentos conjuntos e cooperativos. No entanto, os mais comuns são os canais tradicionais, envolvendo publicações, conferências e consultoria (BARLETTA *et al.*, 2017; LEMOS; FERRAZ, 2017; TORRES *et al.*, 2011)

Um dos principais métodos para gerar essa transferência de conhecimento são os *spin-offs* da universidade. No campo comercial, o termo *spin-off* refere-se ao processo pelo qual uma empresa é criada a partir de outra entidade preexistente. A nova empresa resultante também é conhecida como *spin-off*. O termo serve para definir o processo em si e o resultado desse processo. No nível universitário, fala-se de um *spin-off* acadêmico ou universitário quando a empresa foi estabelecida dentro de uma instituição de ensino superior, colocando em prática o conhecimento gerado nesses centros por meio da atividade de P&D de acadêmicos (MIRANDA *et al.*, 2018).

#### 5.4 TT PARA IMPLEMENTAÇÃO DE TECNOLOGIAS 4.0

A tecnologia é um fator essencial na Indústria 4.0. O uso de novas tecnologias requer a preparação de sistemas existentes. Essa nova transformação digital desafia o cenário da pesquisa e inovação e exige novas abordagens. Os ecossistemas de plataforma baseados em experimentação e inovação podem reunir os stakeholders para trabalhar em soluções e oportunidades de inovação para a IIoT e outras novas tecnologias (VEILE *et al.*, 2019).

Segundo Koch and Blind (2020), Testbeds podem desempenhar um papel fundamental aqui nessa nova revolução industrial. Eles fornecem uma plataforma para cooperação entre indústrias, empresas e a academia. Assim, é facilitada a implementação de novas soluções e desenvolvimento de protótipos. Como ambientes delimitados e espacialmente confinados, os testbeds permitem experimentação e teste fora de ambientes reais de produção (FOLSTAD, 2008; BALLON *et al.*, 2005). Eles servem para pensar em inovações e testar novas aplicações, processos, produtos, serviços e modelos de negócios para verificar sua utilidade e viabilidade antes de levá-los ao mercado (KOCH; BLIND, 2020).

Segundo da Silva *et al.* (2019) uma indústria precisa inicialmente passar por processos internos e externos de TT para se adaptar ao conceito da Indústria 4.0. Os processos internos da TT são aqueles cuja indústria é limitada a seus recursos, como transferência de conhecimento entre colaboradores experientes e funcionários recém-contratados. Quanto aos processos externos, o setor interage com recursos de fornecedores externos, instituições de pesquisa, governo, entre outras organizações.

A adoção de abordagens de TT tem um papel relevante como facilitador no processo de transformação digital e está diretamente ligada à importância de aumentar a base de conhecimento nas tecnologias da I4.0. Desenvolver habilidades específicas para o uso adequado de tecnologias e superar a resistência à mudança e a falta de conhecimento, deve ser um objetivo prioritário. O conhecimento interno precisa ser geralmente aprimorado, promovendo também a integração entre as habilidades digitais e as tradicionais, a fim de evitar que possíveis obstáculos possam surgir da fragmentação (ZANGIACOMI *et al.*, 2018).

## 5.5 TRANSFERÊNCIA DE CONHECIMENTO / GESTÃO DO CONHECIMENTO EM I4.0

Transferência de conhecimento é o processo pelo qual um indivíduo ou unidade é afetado pela experiência de outro nas organizações. Uma equipe de produção pode aprender com outra como montar melhor um produto (ARGOTE; INGRAM, 2000). Várias tecnologias digitais foram desenvolvidas para suportar esse tipo de transferência de conhecimento no passado. O desafio de aumentar o trabalho humano com tecnologias digitais é criado contribuindo e consumindo efetivamente informações que ficam cada vez mais complexas, são combinadas de várias fontes e tipos e mudam constantemente (HANNOLA *et al.*, 2018).

Além disso, novas estratégias de gestão do conhecimento devem ser desenvolvidas considerando a dinâmica resultante da implementação da Indústria 4.0. Tecnologias de informação e comunicação devem estar presentes em todos os níveis da organização (BATZ *et al.*, 2018).

A implementação das estratégias da Indústria 4.0 está acelerando as mudanças no mercado e a produção de bens materiais está adquirindo várias novas características ao setor de serviços (BATZ *et al.*, 2018). Por esse motivo,

qualificações e novas habilidades são essenciais, porque as empresas terão que se adaptar às constantes mudanças tecnológicas. A transformação na gestão do conhecimento é chave para o sucesso de uma empresa altamente inovadora (RAUCH *et al.*, 2019).

Nessa nova revolução industrial, as tarefas futuras dos funcionários exigem mais competências. O conhecimento sobre as tecnologias, bem como o conhecimento interdisciplinar, devem ser transmitidos, por exemplo, por meio de treinamentos, oficinas e programas de educação continuada. Além dos métodos tradicionais de treinamento, a ênfase deve ser colocada no e-learning e no aprendizado baseado em cenários. As empresas também devem cooperar com instituições educacionais de todos os tipos, a fim de se envolver no desenvolvimento e design de programas educacionais adaptados às necessidades específicas de qualificação da Indústria 4.0 (VEILE *et al.*, 2019).

Também, o conhecimento relevante da indústria 4.0 deve ser desenvolvido utilizando resultados de pesquisa, experiências e recomendações de associações de filiais e experiências internas. Compartilhar conhecimento com, por exemplo, instituições de pesquisa, deve ser um processo recíproco (VEILE *et al.*, 2019).

## 5.6 TT NO CENÁRIO INDUSTRIAL 4.0

Segundo Zhong *et al.* (2017), enormes saltos foram feitos em inovação e adaptação tecnológica com o movimento para a Quarta Revolução Industrial. Isso atraiu grande atenção, pois a rápida integração da tecnologia em várias esferas do mundo interrompeu as empresas, o meio acadêmico e o governo (PARK, 2018). Vários estudos (LANGDON *et al.*, 2014; LASI *et al.*, 2014; SÁ, LEE, 2012) observaram que a transferência de tecnologia desempenha um papel fundamental nesse paradigma tecnológico emergente. A própria transferência de tecnologia pode ser descrita como o processo de transferência ou disseminação de tecnologia de seu criador ou proprietário para outra pessoa (AUDRETSCH; CAIAZZA, 2016). Para conseguir isso, várias variáveis e ações precisam ocorrer. Isso geralmente inclui um esforço conjunto para compartilhar conhecimentos, habilidades, tecnologias ou métodos para uma ampla gama de usuários que podem desenvolver e explorar a tecnologia em novas aplicações, materiais, produtos, processos ou serviços

(CUNNINGHAM *et al.* 2019).

Para se adaptar aos conceitos da Indústria 4.0, uma indústria precisa inicialmente passar por processos de TT com fornecedores dos vários ramos da indústria de tecnologia, principalmente. Posteriormente, para acompanhar as mudanças já implementadas na indústria de transformação, é necessário o uso de tecnologias digitais, que são essenciais para facilitar o fluxo de informações (DA SILVA *et al.*, 2019).

De acordo com Lee *et al.* (2018), vários atores, incluindo o setor público, privado e acadêmico, precisarão mudar a maneira como se envolvem para gerenciar as mudanças de poder, riqueza e conhecimento que podem ser atribuídas a essa interrupção. Um aspecto fundamental disso são as tecnologias inovadoras da Indústria 4.0, que estão sendo integradas em diferentes disciplinas científicas e técnicas, facilitando rápidos avanços em P&D (CARAYANNIS *et al.*, 2017). Parte integrante da engenharia digital, as tecnologias de realidade virtual e aumentada estão assumindo um papel fundamental em diferentes formas de treinamentos, qualificações e transferência de conhecimento (SCHUMANN *et al.*, 2015).

## 5.7 INOVAÇÃO / INOVAÇÃO ABERTA EM I4.0

A Indústria 4.0 está altamente conectada à inovação. A inovação é considerada uma condição importante para a construção organizacional e manutenção estratégica, o que pode aumentar a vantagem competitiva das empresas, garantindo sustentabilidade e prosperidade. Colaborações e alianças tornaram-se uma tendência no sentido de permitir o crescimento dos negócios a longo prazo. A inovação aberta combina recursos internos e externos para gerar novas tecnologias e identificar novos caminhos para o mercado (CHESBROUGH, 2003). Com plataformas abertas, avanço tecnológico, mobilidade de pessoas altamente instruídas e engajamento social, as empresas podem absorver recursos de conhecimento com eficiência. (YUN, LIU, 2019)

O setor 4.0 representa uma mudança em direção a uma economia baseada em inovação, com conhecimento, dados e IoT como conceitos centrais. Isso afetará a estrutura atual, mercados e processos de negócios da era industrial e abrirá o

caminho para uma nova era de digitalização, rede “mais inteligente” de sistemas de produção e processos de negócios interligados (MORRAR *et al.*, 2017).

Nessa nova revolução industrial, fatores competitivos tradicionais, como participação de mercado, economias de escala e acesso a recursos, agora estão vinculados ou unidos a outros fatores como inovação, direitos de propriedade intelectual, tecnologia inteligente e acesso ao conhecimento (GEIGER; SÁ, 2013). Além disso, o papel do consumidor no processo de produção também mudou: agora eles são co-produtores. Enquanto isso, a inovação radical de processos está associada à revolução tecnológica; séries de produção sob medida substituirão instalações industriais ou de fabricação em massa (BUHR, 2017).

As empresas devem modificar os modelos de negócios para inovar e inserir cadeias de valor flexíveis para aumentar a capacidade de resposta às mudanças no comportamento do consumidor. Uma fábrica inteligente com sistemas de produção inteligentes atenderá a essa demanda, mantendo produtos e serviços de alta qualidade (MORRAR *et al.*, 2017).

## 5.8 TRABALHOS ANTERIORES

Na revisão sistemática de literatura realizada, após uma intensa filtragem (Método Ordinário – ver Capítulo 6), foram encontrados 27 artigos relevantes que realmente tratam sobre os assuntos Transferência de Tecnologia e Indústria 4.0 (e suas variantes). Esses artigos foram estudados profundamente para desenvolver esse referencial teórico e fundamentar a pesquisa em questão.

O Quadro 10 apresenta de forma resumida o que cada um desses trabalhos estudou e seus objetivos principais.

**Quadro 10 - Objetivos de cada artigo**

<b>Artigo</b>	<b>Objetivo do estudo</b>
Karre <i>et al.</i> (2017)	Os autores revisaram a classificação do <i>TU Graz LeanLab</i> de acordo com a morfologia das fábricas de ensino, resumiram os próximos desafios na fabricação no contexto da Indústria 4.0 e criaram um roteiro de implementação para o caso específico.
da Silva <i>et al.</i> (2019)	Esse estudo contextualiza a TT no cenário Industrial 4.0 da cadeia de suprimentos, com foco nas etapas de suprimento, indústria de transformação e consumidor final. Os resultados inferem que, no cenário Industrial 4.0, a cadeia de suprimentos passará por mudanças, como visibilidade em tempo real em toda a cadeia de suprimentos, colaboração contínua entre os estágios da cadeia, entre outras mudanças significativas.

Al-Saeed <i>et al.</i> (2020)	Este artigo apresenta um framework de BIM Digital Objects (BDO) para automatizar os processos dos fabricantes de produtos de construção e aumentar a manufatura enxuta, através de um estudo de caso de um projeto de transferência de conhecimento.
Ansari <i>et al.</i> (2020)	O principal objetivo deste artigo é estabelecer uma metodologia para a seleção ideal de um colaborador competente nos requisitos da I4.0, correspondentes às características da tarefa e aprendizagem requisitos, incluindo conhecimentos, habilidades e competências.
Kruger, Steyn (2020)	Assim, o objetivo deste estudo é demonstrar o papel dos espaços de inovação em ambientes de pesquisa ricos em conhecimento, como universidades, e como eles aumentam as habilidades empreendedoras para criar empreendimentos de alto valor. Isso pode ser atribuído ao desenvolvimento de tecnologias de nova geração decorrentes da Quarta Revolução Industrial.
Mahmood, Mubarik (2020)	Este estudo examina o papel do capital intelectual (CI) - capital humano, capital estrutural e capital relacional - no equilíbrio das atividades de inovação e exploração da Indústria 4.0.
Michna, Kmiecik (2020)	O objetivo deste artigo é investigar se a cultura de mente aberta, o compartilhamento de conhecimento e o desempenho financeiro têm um impacto significativo na vontade de implementar a Indústria 4.0 nas PMEs.
Koch, Blind (2020)	Neste artigo, os autores realizam um estudo de caso múltiplo exploratório em testbeds no contexto da Indústria 4.0, para descobrir como eles impactam os processos, princípios e resultados de padronização.
Barbosa <i>et al.</i> (2020)	Este artigo enfatiza a proposta de um roadmap customizado que gerencia o conhecimento relacionado às habilidades de automação a serem aplicadas durante a fase de engenharia simultânea. A abordagem deste roteiro de P&D é uma diretriz particular em uma forma estruturada que usa os conceitos do método PDCA integrado a outras ferramentas de qualidade e know-how em robotização, para gerenciamento de este conhecimento específico.
Tirto <i>et al.</i> (2020)	O objetivo deste artigo é considerar os problemas de transferência de tecnologia e educação do suporte de ICT para as redes de inovação da Indústria 4.0. O estudo baseia-se em um amplo entendimento da transferência de tecnologia como uma troca de tecnologia, conhecimento de tecnologia entre indivíduos, empresas, universidades, centros de pesquisa e estruturas governamentais em todos os níveis. A ideia de pesquisa proposta também se baseia no conceito de tecnologia integrada e no conceito de necessidades promissoras (inovação).
Gjeldum <i>et al.</i> (2016)	O objetivo do projeto <i>Innovative Smart Enterprise</i> é estabelecer um ambiente de aprendizado especial em um laboratório como a <i>Lean Learning Factory</i> , ou seja, a simulação de uma fábrica real por meio de equipamentos especializados. Métodos e ferramentas adaptados e implementados, no processo de design e análise para otimização dessa linha de montagem híbrida, seriam dimensionados e ajustados para uso na indústria como parte da transferência de conhecimento da universidade para as empresas.
Fu <i>et al.</i> (2019)	Neste artigo, os autores apresentaram um novo método de transferência de conhecimento multi-escala denominado MSKT. Esse método transfere conhecimento multi-escala da rede de professores para a rede de alunos, tornando o aluno adequado para aplicações de IoT na Indústria 4.0.
Ituarte <i>et al.</i> (2018)	A manufatura aditiva requer uma abordagem sistêmica para ajudar a indústria na pesquisa de aplicabilidade tecnológica. Para esse fim, o objetivo desta pesquisa é ajudar os líderes de negócios de manufatura a decidir se a manufatura digitalizada com base na manufatura aditiva é adequada para aplicações de engenharia e ajudá-los a planejar decisões de transferência de tecnologia.
Cianfanelli <i>et al.</i> (2018)	Este artigo apresenta os resultados de um novo conceito de engenharia reversa do produto aplicado ao processo de fabricação prático baseado em artesanato. Trata-se de uma parceria entre a Universidade e a Empresa, que os autores chamam de <i>Joint Labs</i> , com foco em digitalização em 3D, re-modelagem e design em 3D.

Liboni <i>et al.</i> (2019)	O objetivo deste artigo é abordar os impactos potenciais da Indústria 4.0 no gerenciamento de recursos humanos - com foco particular no emprego, perfil de trabalho e qualificação e requisitos de habilidades na força de trabalho - que podem ter implicações no gerenciamento da cadeia de suprimentos. Consequentemente, as relações exploratórias entre a Indústria 4.0, GRH e SCM são apresentadas com base em uma revisão sistemática.
Rauch <i>et al.</i> (2020)	Este artigo apresenta uma revisão sistemática da literatura da perspectiva antropocêntrica da produção antes e depois da Indústria 4.0. Os autores identificaram grupos centrais de pesquisa em relação aos sistemas tradicionais de produção antropocêntrica (APS) e sistemas de produção física cibernética antropocêntrica. Comparando as duas perspectivas, foram capazes de analisar novos paradigmas emergentes na produção antropocêntrica causados pela Indústria 4.0. Além disso, fizeram uma previsão do papel futuro do operador humano, de seus conhecimentos e capacidades necessários e de como os sistemas de assistência suportam o Operador 4.0.
Berdal <i>et al.</i> (2018)	O artigo enfoca o design de sistemas de produção auto-organizados que cooperam com os seres humanos. Uma revisão de literatura é fornecida com base em duas visões que lidam com esse projeto: um técnico e um sistema humano-máquina. São apresentados limites e vantagens de ambas as visualizações.
Posselt <i>et al.</i> (2016)	Esse estudo tem como foco a abordagem de fábricas de ensino para a Indústria 4.0. Uma abordagem central é buscar a nova transferência interativa de conhecimento através da abordagem multissensorial combinada com processos de feedback inovadores, permitindo um processo de aprendizado com todos os sentidos humanos.
Feng <i>et al.</i> (2017)	Este artigo prescreve o gerenciamento de conhecimento para tratar da falta de mecanismos para integrar, compartilhar e atualizar conhecimentos específicos de domínio na fabricação inteligente. Os aspectos das construções de conhecimento incluem design conceitual, design detalhado, planejamento de processos, propriedade do material, produção e inspeção.
Yun, Liu (2019)	Este artigo explora como a sustentabilidade pode ser alcançada por meio da inovação aberta na 4ª revolução industrial. Os autores desenvolveram um framework para entender a micro e a macro dinâmica da inovação aberta com um modelo de hélice quadrupla para sustentabilidade social, ambiental, econômica, cultural, política e do conhecimento.
Yun <i>et al.</i> (2018)	Com o advento da Quarta Revolução Industrial, o ambiente industrial coreano mudou rapidamente. Como resultado, várias indústrias estão enfrentando diferentes condições de inovação. Este estudo utilizou parâmetros relacionados a patentes originárias dos campos automotivo, robótico e aeroespacial. As patentes sujeitas a análise foram as registradas na Coreia de 2001 a 2014 e incluíram as solicitadas, solicitadas em conjunto ou registradas pelas empresas coreanas. Este estudo analisou as diferenças causadas pelo efeito da inovação aberta nas três indústrias.
Hannola <i>et al.</i> (2018)	Este artigo propõe um <i>framework</i> para capacitar trabalhadores em ambientes de produção industrial com processos de gerenciamento de conhecimento digitalmente facilitados. A estrutura explora quatro facetas concretas dos avanços digitais que se aplicam a uma ampla gama de processos de conhecimento e estratégias de produção em empresas de manufatura. Cada um desses avanços é capaz de suportar uma faceta específica dos processos individuais de gerenciamento de conhecimento dos trabalhadores: transferência, descoberta, aquisição e compartilhamento de conhecimento.
Schumann <i>et al.</i> (2015)	Este artigo examina um meio pelo qual a engenharia digital, as tecnologias de realidade virtual e de realidade aumentada podem apoiar a criação de processos sustentáveis de manufatura e logística inteligentes, bem como treinamento no trabalho e qualificação e transferência de conhecimento.
Sastoque <i>et al.</i> (2019)	Neste artigo, é apresentado um estudo para a criação de novos centros de Manufatura Avançada, centros cujas atividades estão focadas em Níveis de Preparação de Tecnologia (TRL) 5–7. São estabelecidos os alicerces do conhecimento do setor e as dificuldades apontadas, para que possa orientar iniciativas semelhantes.

Garbellano, da Veiga (2019)	Este artigo tem como objetivo focar em como a transferência de tecnologia da Indústria 4.0 tem sido implementada por empresas italianas inovadoras de pequeno e médio porte (PMEs).
Ilie e Gheorghe (2014)	As nanotecnologias podem sustentar constantemente a inovação e a transferência de tecnologia, produtos e tecnologias inteligentes, criando empregos e ajudando o crescimento econômico e uma economia sustentável. O objetivo deste artigo é destacar elementos de transferência tecnológica para melhorar o processo de fabricação inteligente.
Tourk, Marsh (2016)	Este artigo examina os contornos que moldam a Nova Revolução Industrial e analisa os desafios que a China enfrenta em sua busca por alcançar paridade tecnológica com as nações avançadas, com o auxílio de P&D, artigos publicados, patentes e centros de inovação.

**Fonte: Autoria Própria (2021)**

Todos esses trabalhos estudaram a TT e a I4.0, porém de diferentes maneiras. Alguns deles focaram na transferência de conhecimento, outros na TT para implementação de tecnologias 4.0, outros ainda no ensino de tecnologias pertinentes à I4.0. Ainda, é perceptível que alguns trabalhos apresentam I4.0 como manufatura avançada, fábricas do futuro, fábricas inteligentes, e assim por diante.

Nesse sentido, foi realizado um quadro para demonstrar de maneira simplificada, qual a relação que os autores apresentam entre Indústria 4.0 e Transferência de Tecnologia. Essa classificação é apresentada no Quadro 11. Um artigo pode estar inserido em mais de uma categoria.

Quadro 11 - Relação entre I4.0 e TT apresentada em cada artigo

Autor (ano)	Fábricas de Ensino	Interação Homem-Máquina	Universidade - Indústria	TT para implementação de tecnologias 4.0	Transferência de Conhecimento/ Gestão do Conhecimento em I4.0	TT no cenário industrial 4.0	Inovação / Inovação aberta em I4.0
Karre <i>et al.</i> (2017)	✓		✓		✓		
da Silva <i>et al.</i> (2019)						✓	
Al-Saeed <i>et al.</i> (2020)				✓			
Ansari <i>et al.</i> (2020)		✓			✓		
Kruger, Steyn (2019)			✓			✓	✓
Mahmood, Mubarik (2020)					✓		✓
Michna, Kmiecik (2020)				✓	✓		
Koch, Blind (2020)				✓			✓
Barbosa <i>et al.</i> (2020)			✓		✓		
Tirto <i>et al.</i> (2020)		✓					✓
Gjeldum <i>et al.</i> (2016)	✓				✓		
Fu <i>et al.</i> (2020)				✓	✓	✓	
Ituarte <i>et al.</i> (2018)						✓	
Cianfanelli <i>et al.</i> (2019)			✓		✓		
Liboni <i>et al.</i> (2019)		✓			✓		
Rauch <i>et al.</i> (2019)		✓			✓		
Berdal <i>et al.</i> (2019)		✓					
Posselt <i>et al.</i> (2016)	✓						
Feng <i>et al.</i> (2017)					✓		
Yun, Liu (2019)							✓
Yun <i>et al.</i> (2018)							✓
Hannola <i>et al.</i> (2018)		✓			✓		
Schumann <i>et al.</i> (2015)						✓	
Sastoque <i>et al.</i> (2019)			✓	✓			
Garbellano, Da Veiga (2019)				✓			
Ilie, Gheorghe (2014)				✓		✓	
Tourk, Marsh (2016)						✓	

Fonte: Autoria Própria (2021)

Saber como essa relação ocorre é muito importante para o entendimento da presença da Transferência de Tecnologia na Indústria 4.0. Pesquisadores e

organizações podem se beneficiar dessa categorização, pois mostra diferentes vertentes em que esses dois temas são influenciados um pelo outro.

*Transferência de Conhecimento / Gestão do Conhecimento em 4.0* é a categoria que apresenta uma maior concentração de artigos, com 12 no total. Em seguida, as categorias *TT para implementação de tecnologias 4.0* e *TT no cenário industrial 4.0* são as que tem mais estudos, cada uma com sete artigos.

Diversas são as lacunas e sugestões para trabalhos futuros nesses artigos estudados. A seguir, são apresentadas algumas sugestões pertinentes propostas por esses autores.

No trabalho de Liboni *et al.* (2019), os autores perceberam que também existem oportunidades para estudos que analisam outras dimensões da GRH, pois o foco tem sido o treinamento e desenvolvimento, liderança e trabalho em equipe e comunicação. Segundo eles, é necessário estudar novos modelos de seleção e recrutamento, assim como desempenho e novas competências.

A limitação do estudo de da Silva *et al.* (2019), de acordo com os autores, é que ele se restringe aos aspectos tecnológicos relacionados à Indústria 4.0, não abordando outros aspectos que devem ser discutidos para o amadurecimento das indústrias. Nesse sentido, para estudos posteriores, os autores sugerem que contribuições práticas do gerenciamento da cadeia de suprimentos na Indústria 4.0, bem como abordagens aplicadas relacionadas ao TT no contexto da cadeia de suprimentos no cenário Industrial 4.0, possam ser desenvolvidas.

Para Liboni *et al.* (2019), há uma grande oportunidade para discutir novas demandas em qualificação e educação, para criar um conhecimento mais amplo e melhor estruturado dos conceitos básicos relacionados a essa nova revolução industrial. Serão necessárias pesquisas sobre novos empregos e novos requisitos de habilidades, e o papel das universidades e da educação sob essa perspectiva deve ser discutido. Pesquisas com foco em como o mercado de trabalho será afetado pela implementação de parcerias com robôs colaborativos também estão na agenda de estudos futuros, bem como discussões sobre mudanças tecnológicas que resultem em desigualdade e uma possível expansão de empregos precários.

Ainda segundo os autores, há também uma oportunidade para estudar as diferenças entre os países, pois o nível de automação de cada nação adapta naturalmente um desempenho mais rápido nas transformações organizacionais para a Indústria 4.0. Além disso, os impactos sociais e tecnológicos dessa revolução

industrial são sentidos de maneira diferente em cada nação, e isso deve apresentar um rico tópico de pesquisa (LIBONI *et al.*, 2019).

Finalizando, Feng *et al.* (2017) apontam que trabalhos futuros precisam desenvolver mais estudos de caso para demonstrar a reutilização de tais construções de conhecimento e a utilidade de uma base de conhecimento de fabricação inteligente. Para realizar uma ampla disseminação da metodologia de gerenciamento de conhecimento, é crucial armazenar uma grande variedade e grande número de artefatos de conhecimento.

## 5.9 A INFLUÊNCIA DA TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA NA INDÚSTRIA 4.0: FRAMEWORK CONCEITUAL

Este capítulo teve o intuito de descrever qual a relação existente entre Indústria 4.0 e Transferência de Tecnologia. Foram estudados todos os artigos encontrados na Revisão Sistemática de Literatura que apresentavam como foco principal esses dois temas.

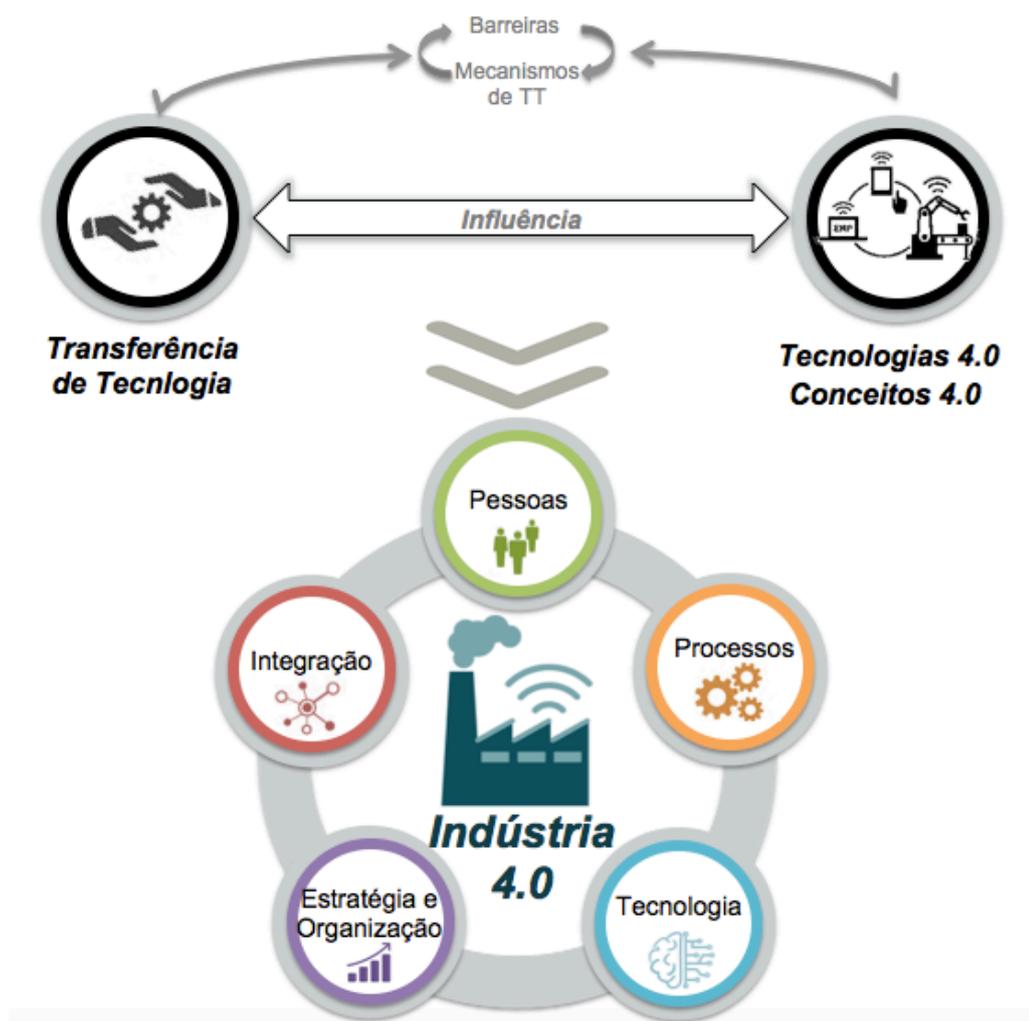
Com base em tudo o que foi estudado e analisado nos capítulos 2, 3, 4 e nesse capítulo, é possível chegar a conclusão de que a Transferência de Tecnologia influencia a Indústria 4.0. E também, vice-versa.

Da Silva *et al.* (2019) afirma que para a implementação de uma Indústria 4.0 é necessário um processo evolutivo, e para que esse processo ocorra, é essencial a presença da Transferência de Tecnologia. Somente os conceitos 4.0 não garantem a implementação dessa nova revolução industrial.

Diante do exposto nesta revisão, a seguinte teoria foi levantada:

O conjunto da Transferência de Tecnologia com os Conceitos e Tecnologias 4.0, aplicados em cinco dimensões (Pessoas, Processo, Tecnologia, Estratégia e Organização, e Integração), facilitam o processo de implementação da Indústria 4.0. Nesse sentido, a Figura 20 apresenta o Framework Conceitual TT-I4.0, que ilustra esse novo conceito.

Figura 20 - Framework Conceitual TT-I4.0



Fonte: A autoria Própria (2021)

Os mecanismos de TT podem minimizar as barreiras encontradas na sua implementação, facilitando o processo. Da mesma maneira, as tecnologias e princípios existentes na I4.0 fazem com que novas mudanças precisem ser adotadas para uma Transferência de Tecnologia eficaz e atual.

A Transferência de Tecnologia com os conceitos e tecnologias 4.0 atuam diretamente nas cinco dimensões:

- (1) *Pessoas*: Refere-se a interação Homem-Máquina, e todo o treinamento, conhecimento e desenvolvimento das habilidades necessárias para I4.0 (SCHUMACHER *et al.*, 2016; SJÖDIN *et al.*, 2018; BEER *et al.*, 2017; SECUNDO *et al.*, 2016; MENDOZA E SANCHEZ, 2018);

- (2) *Processos*: Refere-se aos processos necessários em uma I4.0 para o desenvolvimento de produtos e/ou serviços (AKDIL *et al.*, 2018; SJÖDIN *et al.*, 2018; JOCHEM *et al.*, 2011);
- (3) *Tecnologia*: Refere-se às tecnologias (materiais e conhecimentos) que devem compor o processo de transformação do produto e/ou serviço (SCHUMACHER *et al.*, 2016; SJÖDIN *et al.*, 2018; BEER *et al.*, 2017; SECUNDO *et al.*, 2016; MENDOZA E SANCHEZ, 2018);
- (4) *Estratégia e organização*: Refere-se à adequação aos novos Modelos de Negócios e a cultura organizacional na empresa (SCHUMACHER *et al.*, 2016; SCHUH *et al.*, 2017; AKDIL *et al.*, 2018; MENDOZA E SANCHEZ, 2018);
- (5) *Integração*: Refere-se à maneira de como os sistemas estão interligados na Indústria e na Cadeia de Suprimentos 4.0 (SCHUH *et al.*, 2017; BEER *et al.*, 2017; JOCHEM *et al.*, 2011).

Dessa maneira, a Transferência de Tecnologia torna-se um aliado aos Conceitos e Tecnologias 4.0 para a evolutiva implementação da Indústria 4.0 nas organizações.

Os trabalhos relatados nesse capítulo apresentaram a importância da TT na I.40. Porém, a lacuna encontrada foi que nenhum desses trabalhos apresentaram qual realmente é essa influência existente e como ela pode ser analisada. Dessa maneira, foi realizada essa análise teórica que chegou a abordagem apresentada na Figura 20.

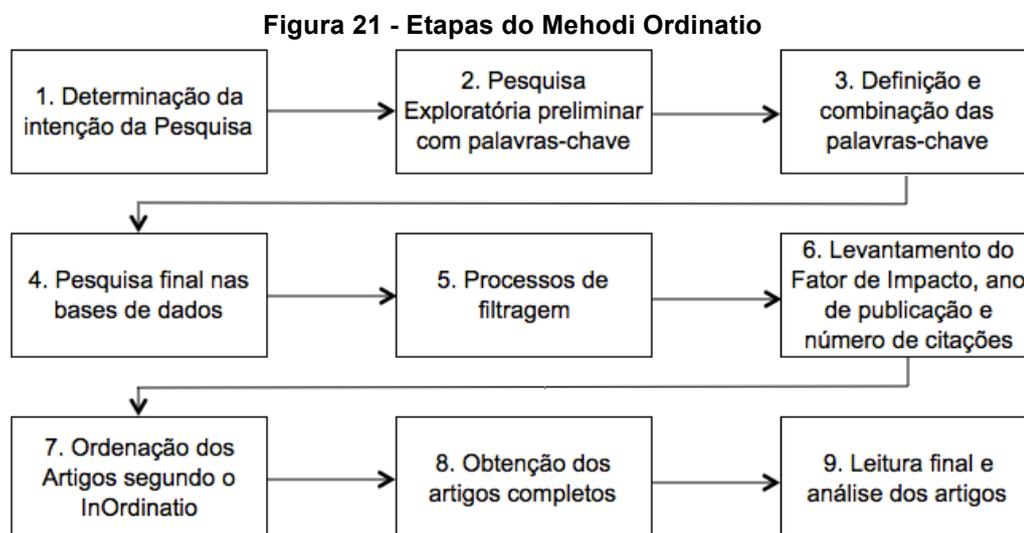
Para comprovar e aplicar essa teoria levantada, o próximo capítulo aborda os procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa.

## 6 METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos neste trabalho, este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos que foram adotados. O capítulo é subdividido nas seções: Revisão Bibliográfica Sistematizada e Elaboração do Modelo. A primeira sessão descreve-se como foi feita a obtenção do portfólio bibliográfico. Na segunda seção, é descrito como o Modelo de Maturidade foi construído em etapas.

### 6.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMATIZADA (RBS)

A obtenção do portfólio bibliográfico baseou-se na busca através de uma revisão bibliográfica sistematizada (RBS), utilizando a metodologia *Methodi Ordinatio* de Pagani, Kovaleski e Resende (2015). Esta metodologia ordena artigos a partir de critérios como o fator de impacto dos periódicos aos quais os artigos foram publicados, o ano de publicação e número de citações. Para a aplicação desta metodologia, as etapas que devem ser seguidas estão representadas na Figura 21.



Fonte: Adaptado de Pagani, Kovaleski e Resende (2015)

Após cumpridas as 9 etapas desse método, 314 artigos foram estudados para extrair informações necessárias para a composição desse trabalho. Assim, foi realizada uma análise de conteúdo para atingir aos objetivos da pesquisa. Todas essas etapas estão detalhadas no Apêndice A.

## 6.2 ELABORAÇÃO DO MODELO DE MATURIDADE I4.0-TT

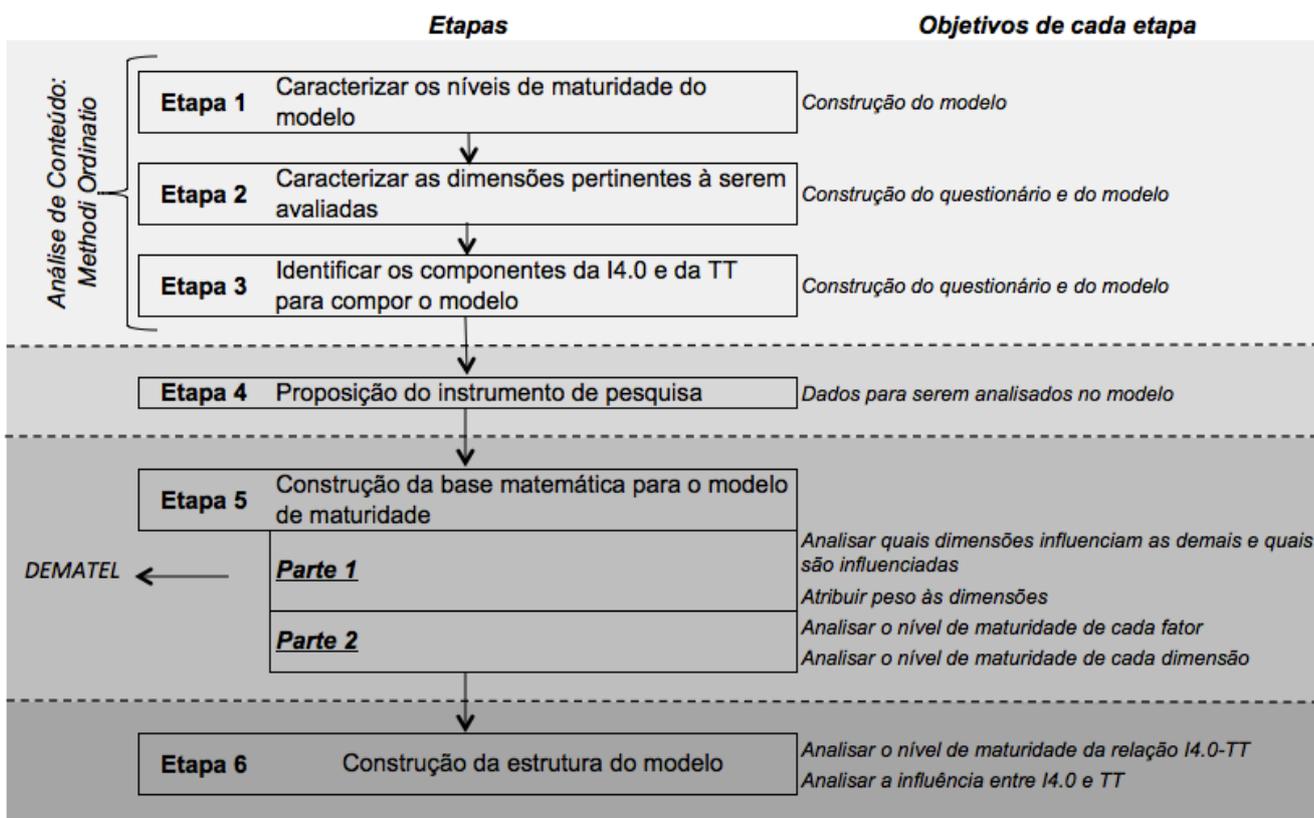
Para atingir os objetivos propostos nesse trabalho, foi elaborado um modelo onde é possível analisar o nível de maturidade de I4.0 de uma organização, baseando-se na TT e nos conceitos e tecnologias 4.0.

Esse modelo comprovará e aplicará o *framework* conceitual proposto na Seção 5.4. Nele, afirma-se que a influência da Transferência de Tecnologia aplicada aos conceitos e tecnologias 4.0 facilitam a implementação da Indústria 4.0. Para simplificar, esses conceitos e tecnologias 4.0 serão chamados de *Building Blocks* 4.0 (BB4.0) nesse modelo, pois trata-se dos componentes necessários para a Indústria 4.0.

Esse modelo de maturidade baseia-se na influência entre os fatores (TT e BB4.0). Sendo assim, será possível verificar se esses fatores se interferem ou não.

Para a construção desse modelo, 7 etapas são necessárias, apresentadas na Figura 22 e descritas a seguir.

Figura 22 - Etapas para a elaboração do Modelo de Maturidade I4.0-TT



Fonte: Autor (2021)

### 6.2.1 Etapa 1: Caracterizar os níveis de maturidade do modelo

A análise dos modelos encontrados na literatura permitiu visualizar os níveis de maturidade determinados por cada pesquisador. Esses modelos apresentam uma média de cinco níveis, sendo que quando cada nível de maturidade for alcançado pela indústria, significará que a mesma estará evoluindo na maturidade de seus processos.

Nesse trabalho foi determinado que o modelo apresentará quatro níveis de maturidade para *Building Blocks* 4.0 e quatro níveis de maturidade para Transferência de Tecnologia.

Os níveis de maturidade no modelo são descritos no Quadro 12:

**Quadro 12 - Níveis do modelo de maturidade**

<b>Nível de Maturidade</b>	<b>Descrição</b>	<b>Autores</b>
<b>Nível 1 - Inicial</b>	O fator analisado está em um nível crítico, precisa avançar muito.	Ganzarain e Errasti (2016); Kreiling e Bounfour (2020); Wagire <i>et al.</i> (2020).
<b>Nível 2 - Definido</b>	Há existência de alguns componentes do fator analisado, varia de um estado de alerta para aceitável.	Jochem <i>et al.</i> (2011); Ganzarain e Errasti (2016); Secundo <i>et al.</i> (2016); Facchini <i>et al.</i> (2020); Kreiling e Bounfour (2020).
<b>Nível 3 - Gerenciado</b>	Os componentes dos fatores analisados são medidos e controlados, está em um nível ótimo.	Jochem <i>et al.</i> (2011); Secundo <i>et al.</i> (2016); Ganzarain e Errasti (2016); Gokalp <i>et al.</i> (2017); Beer <i>et al.</i> (2017); Facchini <i>et al.</i> (2020); Kreiling e Bounfour (2020).
<b>Nível 4 - Maturidade Sustentada</b>	É o nível ideal, onde todos os componentes estão integrados, são medidos e controlados. Nessa etapa, o foco é em Melhoria Contínua.	Secundo <i>et al.</i> (2016); Beer <i>et al.</i> (2017); Akdil <i>et al.</i> (2018); Facchini <i>et al.</i> (2020).

Fonte: Autoria Própria (2021)

### 6.2.2 Etapa 2: Caracterizar as dimensões pertinentes à serem avaliadas

Nessa etapa é necessário determinar as dimensões que serão analisadas no modelo. Essas dimensões foram determinadas baseando-se nos modelos existentes de I4.0 e TT, e em toda revisão de literatura, como é apresentado na Seção 5.4.

Como são dois fatores a serem mensurados, as dimensões escolhidas precisam se enquadrar e ter relação tanto em I4.0 como em TT. Como apresentado na Seção 5.4, cinco dimensões foram determinadas para serem analisadas nesse modelo. Essas cinco dimensões foram sub-divididas em Dimensões de Transferência de Tecnologia e Dimensões de *Building Blocks* 4.0, totalizando 10 dimensões. O Quadro 13 apresenta essas dimensões, sub-dimensões e suas características principais.

**Quadro 13 - Dimensões do modelo de maturidade**

<b>Dimensões</b>	<b>Dimensões TT</b>	<b>Dimensões BB4.0</b>	<b>Autores</b>
<b>Pessoas</b>	<i>Recursos Humanos</i> Refere-se a todos os fatores relacionados a recursos humanos, como treinamento, desenvolvimento de habilidades, entre outros.	<i>Interface Homem-Máquina</i> Refere-se à relação existente do homem com a tecnologia.	Schumacher <i>et al.</i> (2016); Sjödin <i>et al.</i> (2018); Beer <i>et al.</i> (2017); Secundo <i>et al.</i> (2016); Mendoza e Sanchez (2018)
<b>Processo</b>	<i>Processo de TT</i> Refere-se aos recursos necessários para se obter uma TT.	<i>Processo de I4.0</i> Refere-se aos recursos necessários em uma I4.0.	Akdil <i>et al.</i> (2018); Sjödin <i>et al.</i> (2018); Jochem <i>et al.</i> (2011)
<b>Tecnologia</b>	<i>Disseminação do Conhecimento</i> Refere-se às maneiras de como a transferência de tecnologia e conhecimento é disseminada na organização.	<i>Tecnologias 4.0</i> Refere-se às tecnologias que devem compor o processo de transformação do produto / serviço.	Schumacher <i>et al.</i> (2016); Sjödin <i>et al.</i> (2018); Beer <i>et al.</i> (2017); Secundo <i>et al.</i> (2016); Mendoza e Sanchez (2018)
<b>Estratégia e Organização</b>	<i>Cultura Organizacional</i> Refere-se à cultura existente na organização em relação à TT.	<i>Modelos de Negócios</i> Refere-se a adequação à novos modelos de negócios.	Schumacher <i>et al.</i> (2016); Schuh <i>et al.</i> (2017); Akdil <i>et al.</i> (2018); Mendoza e Sanchez (2018)
<b>Integração</b>	<i>Modos de TT</i> Refere-se aos modos de como existe a TT na organização, como a tecnologia é transferida de um lugar para o outro.	<i>Integração de Sistemas</i> Refere-se à maneira de como os sistemas estão interligados na Indústria e na Cadeia de Suprimentos 4.0.	Schuh <i>et al.</i> (2017); Beer <i>et al.</i> (2017); Jochem <i>et al.</i> (2011)

Fonte: Autoria Própria (2021)

A partir dessas 10 dimensões, será construído o instrumento de pesquisa.

### 6.2.3 Etapa 3: Identificar os componentes de I4.0 e TT para compor o modelo

A próxima etapa é identificar todos os componentes de Indústria 4.0 (BB4.0) e Transferência de Tecnologia necessários para compor o modelo proposto.

Todos esses componentes foram selecionados através da Revisão Sistemática de Literatura realizada. Os fatores que os autores apontam como essenciais para o funcionamento de uma Indústria 4.0 e/ou Transferência de Tecnologia foram tabelados. Isso significa que com a análise da presença ou ausência desses componentes, será possível mensurar o nível de maturidade de TT e BB4.0. Dessa maneira, esses componentes serão analisados através do questionário proposto na Etapa 4. O Quadro 14 apresenta todos esses componentes de BB4.0 e TT.

Quadro 14 - Componentes do modelo de maturidade

Componentes		Autores	
Indústria 4.0	1	Smart Factory	Qin <i>et al.</i> (2016); Pereira e Romero (2017); Radziwon <i>et al.</i> (2014); Kagermann <i>et al.</i> (2013).
	2	Produtos Inteligentes	Qin <i>et al.</i> (2016); Pereira e Romero (2017); Kagermann <i>et al.</i> (2013).
	3	Business Model	Qin <i>et al.</i> (2016); Pereira e Romero (2017)
	4	Competências dos Funcionários	Qin <i>et al.</i> (2016); Pereira e Romero (2017); Stock <i>et al.</i> (2018).
	5	Autonomia dos funcionários	Qin <i>et al.</i> (2016); Pereira e Romero (2017)
	6	Integração Horizontal	Wang <i>et al.</i> (2016); Stock <i>et al.</i> (2018)
	7	Integração Vertical	Wang <i>et al.</i> (2016); Pereira e Romero (2017)
	8	Integração de Engenharia de ponta a ponta	Wang <i>et al.</i> (2016); Stock <i>et al.</i> (2018)
	9	Interface Homem-Máquina	Bahrin <i>et al.</i> (2016); Liboni <i>et al.</i> (2019); Thramboulidis, Christoulakis (2016); Pfeiffer (2016); Sivathanu e Pillai (2018)
	10	Interoperabilidade	Carvalho <i>et al.</i> (2018); Qin <i>et al.</i> (2016); Persson (2016).
	11	Descentralização	Carvalho <i>et al.</i> (2018); Kamble <i>et al.</i> (2018); Persson (2016).
	12	Virtualização	Carvalho <i>et al.</i> (2018); Kamble <i>et al.</i> (2018); Persson (2016).
	13	Trabalho em tempo real	Carvalho <i>et al.</i> (2018); Kamble <i>et al.</i> (2018); P Persson (2016).
	14	Modularidade	Carvalho <i>et al.</i> (2018); Qin <i>et al.</i> (2016); Persson (2016).
	15	Orientação de serviço	Carvalho <i>et al.</i> (2018); Kamble <i>et al.</i> (2018); Persson (2016).
	16	Conectividade	Kumar e Nayyar (2020)
	17	Sistemas de controle	Kumar e Nayyar (2020)
	18	Sensores Inteligentes	Kumar e Nayyar (2020)
	19	Cyber and Physical System	Varghese, Tandur (2014); Lee <i>et al.</i> (2015); de Silva, de Silva (2016); Zhou <i>et al.</i> (2016); Mladineo <i>et al.</i> (2017)
	20	Cloud Computing	Wang <i>et al.</i> (2014); Branger, Pang (2015); Thames, Schaefer (2016); Moghaddam, Nof (2017).
	21	Industrial Internet of Things (IIOT)	Sisinni <i>et al.</i> (2018); Wong, Kim (2017); Thramboulidis, Christoulakis (2016)
	22	Realidade Aumentada (RA)	Lee <i>et al.</i> (2011)
	23	Big Data Analytics	Babiceanu, Seker (2016); Denkena <i>et al.</i> (2014); Kushiro <i>et al.</i> (2014); Rago (2015)
	24	Cyber Security	Thames, Schaefer (2017)
	25	Robôs Autônomos	Moeuf <i>et al.</i> (2018); Pei <i>et al.</i> (2017)
	26	Additive manufacturing / 3D Printing	Chen, Lin (2017); Jian <i>et al.</i> (2017)
	27	Simulações	Rüßmann <i>et al.</i> (2015); Bahrin <i>et al.</i> (2016).
	28	Existência de coordenação central para I4.0	Schumacher <i>et al.</i> (2016)
	29	Inteligência Artificial	Esmaeilian <i>et al.</i> (2016)
	30	Indicadores de desempenho	Pereira e Romero (2017); Wang <i>et al.</i> (2016); Esmaeilian <i>et al.</i> (2016).
	31	Comunicação digitalizada	Esmaeilian <i>et al.</i> (2016)
	32	Marketing 4.0	Jara <i>et al.</i> (2012)
ia de	33	Interação Universidade-Empresa	Stephan (2001); Debackere, Veugelers (2005); Cormican e O'Connor (2009); Dutrénit <i>et al.</i> (2010); Sierra, Villazul (2018).
	34	Compartilhamento de conhecimento	Argote e Ingram (2000)

35	Transferência de tecnologia vertical	Ockwell <i>et al.</i> (2008); Park, Lee (2011)
36	Transferência de tecnologia horizontal	Ockwell <i>et al.</i> (2008); Park, Lee (2011)
37	Fornecedor de tecnologia	Mendoza e Sanchez (2018)
38	Receptor da tecnologia	Mendoza e Sanchez (2018)
39	Agente intermediário	Mendoza e Sanchez (2018)
40	Interação Comprador-Fornecedor	Ockwell <i>et al.</i> (2008); Shujing (2012); Pueyo <i>et al.</i> (2011)
41	Treinamentos	Chege <i>et al.</i> (2019); Morgera e Ntona (2018); Lema <i>et al.</i> (2018); Eitzel <i>et al.</i> (2018); Bruckman <i>et al.</i> (2018).
42	Consultorias	Debackere, Veugelers (2005); Khalozadeh <i>et al.</i> , (2011); Trencher <i>et al.</i> (2013); Vac e Fitiu (2017); Bliznets <i>et al.</i> (2018)
43	Networking e compartilhamento de recursos	Bozeman (2000); Canestrino (2009).
44	Intercâmbio de pessoal, pesquisadores ou profissionais	Manyuchi (2017); Basu (2018); Bliznets <i>et al.</i> (2018); Lema <i>et al.</i> (2018); Sarkodie e Strezov (2019).
45	Estágio	Cohen <i>et al.</i> (2002).
46	Redes interinstitucionais	Mehta <i>et al.</i> (2016); Morgera, Ntona (2018); Bruckman <i>et al.</i> (2018); Li <i>et al.</i> (2018); Sarkodie, Strezov (2019)
47	Pesquisa e Desenvolvimento	Urban <i>et al.</i> (2015); Mehta <i>et al.</i> (2016); Aggarwal e Aggarwal (2017); Li <i>et al.</i> (2018); Bliznets <i>et al.</i> (2018)
48	<i>Spin-offs</i>	Gilsing <i>et al.</i> (2011); Looy <i>et al.</i> (2011); Sánchez <i>et al.</i> (2012); Trencher <i>et al.</i> (2013); Vac, Fitiu (2017)
49	<i>Joint Venture</i>	Khalozadeh <i>et al.</i> (2011); Mohamed <i>et al.</i> (2012); Urban <i>et al.</i> (2015); Mehta <i>et al.</i> (2016); Bliznets <i>et al.</i> (2018)
50	Publicações	Ferdows (2006); Gilsing <i>et al.</i> (2011); Trencher <i>et al.</i> (2013); Pinard (2013); Escalante <i>et al.</i> (2013).
51	Seminários / Workshops	Doukas <i>et al.</i> (2012); Trencher <i>et al.</i> (2013); Pinard (2013); Belmonte <i>et al.</i> (2015); Eitzel <i>et al.</i> (2018).
52	Patentes / Propriedade Intelectual	Park <i>et al.</i> (2013); Trencher <i>et al.</i> (2013); Shi e Lai (2013); Bliznets <i>et al.</i> (2018); Ferreira <i>et al.</i> (2018).
53	Desenvolvimento de habilidades	Lanza <i>et al.</i> (2015); Wang <i>et al.</i> (2015); Morell, Trucco (2012)
54	Relação Homem-Máquina	Bahrin <i>et al.</i> (2016); Liboni <i>et al.</i> (2019); Thramboulidis, Christoulakis (2016); Pfeiffer (2016); Sivathanu, Pillai (2018)
55	Gestão de competências e métodos	Schumacher <i>et al.</i> (2016)
56	Inovação-aberta	Schumacher <i>et al.</i> (2016)
57	Equipes interdisciplinares	Palacios-Marqués <i>et al.</i> (2013)

Fonte: Autoria Própria (2021)

#### 6.2.4 Etapa 4: Proposição do instrumento de pesquisa

Nesta etapa, o instrumento de pesquisa é proposto. Para a composição do modelo é necessária a coleta de informações das indústrias para analisar os níveis de maturidade das mesmas no contexto da I4.0 e TT. Optou-se pelo questionário como instrumento para coleta de dados, pois possui as seguintes vantagens:

liberdade de tempo para os respondentes, replicabilidade, exatidão nas respostas, praticidade e o anonimato da indústria participante.

O questionário foi desenvolvido a partir dos componentes selecionados de I4.0 e TT (Etapa 3), onde foram enquadrados nas dimensões definidas (Etapa 2). Com isso é possível analisar a maturidade de cada dimensão e de cada fator (BB4.0 e TT).

Os construtos teóricos utilizados neste questionário foram baseados em pesquisas anteriores. O instrumento de pesquisa foi pré-testado com 3 especialistas no assunto. Seus *feedbacks* foram usado para melhorar o formato e a clareza da pesquisa.

Foram dois questionários que os entrevistados responderam, sendo:

- (1) Questionário 1 – O entrevistado deve responder um questionário referente à influência que cada dimensão apresenta uma sob a outra. A questão é a seguinte: Qual a influência que a dimensão y tem na dimensão x? Assim, o responsável da empresa deve indicar o nível de influência entre cada dimensão, em uma escala de 0 a 4: 0 (nenhuma influência); 1 (baixa influência); 2 (média influência); 3 (alta influência); 4 (influência muito alta). Esse questionário é apresentado no Apêndice B.
- (2) Questionário 2 – Nesse questionário estão as questões referentes a todos os componentes selecionados na Etapa 3. Há um total de 60 perguntas no questionário, sendo 30 para cada fator (I4.0 e TT). Estas perguntas foram categorizadas em dez dimensões: Recursos Humanos, Processo de TT, Disseminação do Conhecimento, Cultura Organizacional, Modos de TT, Interface Homem-Máquina, Processo de I4.0, Tecnologias, Modelos de Negócios e Integração de Sistemas. Todos os itens são de medida perceptiva usando uma escala *Likert* de 5 pontos: 0 (não ocorre); 1 (muito raramente); 2 (ocorre em pequena escala); 3 (ocorre com alguma frequência); 4 (ocorre com muita frequência / sempre). Esse questionário é apresentado no Apêndice C.

A seguir será apresentado a Etapa 5 do trabalho, ou seja, a base matemática do Modelo de Maturidade I4.0-TT.

### 6.2.5 Etapa 5: Construção da base matemática para o modelo de maturidade

A base matemática do Modelo de Maturidade I4.0-TT é dividida em duas partes. A primeira parte tem como objetivo analisar quais as dimensões de TT e BB4.0 que influenciam as demais, e quais as dimensões que são influenciadas. Além disso, nessa etapa também serão atribuídos pesos a essas dimensões, de acordo com o impacto geral dado em relação ao demais. A segunda parte tem como objetivo analisar o nível de maturidade de cada dimensão e fator.

#### 6.2.5.1 Primeira parte

Será analisada a influência existente entre TT e BB4.0. Dessa maneira, o modelo é uma função desses dois fatores. Sendo que cada um desses fatores possuem cinco dimensões que os definem, essas também possuem influências umas sob as outras. Portanto, a seguinte equação matemática pode ser escrita para o modelo:

$$\begin{aligned} \text{MODEL} &= f(\text{TT}, \text{BB4.0}); \\ \text{MODEL} &= f(\text{RH}, \text{PTT}, \text{DC}, \text{CO}, \text{MTT}, \text{IHM}, \text{PI4.0}, \text{T4.0}, \text{MN}, \text{IS}); \\ \text{RH} &= f(\text{PTT}, \text{DC}, \text{CO}, \text{MTT}, \text{IHM}, \text{PI4.0}, \text{T4.0}, \text{MN}, \text{IS}); \\ \text{PTT} &= f(\text{RH}, \text{DC}, \text{CO}, \text{MTT}, \text{IHM}, \text{PI4.0}, \text{T4.0}, \text{MN}, \text{IS}); \\ \text{DC} &= f(\text{RH}, \text{PTT}, \text{CO}, \text{MTT}, \text{IHM}, \text{PI4.0}, \text{T4.0}, \text{MN}, \text{IS}); \\ \text{CO} &= f(\text{RH}, \text{PTT}, \text{DC}, \text{MTT}, \text{IHM}, \text{PI4.0}, \text{T4.0}, \text{MN}, \text{IS}); \\ \text{MTT} &= f(\text{RH}, \text{PTT}, \text{DC}, \text{MTT}, \text{IHM}, \text{PI4.0}, \text{T4.0}, \text{MN}, \text{IS}); \\ \text{IHM} &= f(\text{RH}, \text{PTT}, \text{DC}, \text{CO}, \text{MTT}, \text{PI4.0}, \text{T4.0}, \text{MN}, \text{IS}); \\ \text{PI4.0} &= f(\text{RH}, \text{PTT}, \text{DC}, \text{CO}, \text{MTT}, \text{IHM}, \text{T4.0}, \text{MN}, \text{IS}); \\ \text{T4.0} &= f(\text{RH}, \text{PTT}, \text{DC}, \text{CO}, \text{MTT}, \text{IHM}, \text{PI4.0}, \text{MN}, \text{IS}); \\ \text{MN} &= f(\text{RH}, \text{PTT}, \text{DC}, \text{CO}, \text{MTT}, \text{IHM}, \text{PI4.0}, \text{T4.0}, \text{IS}); \\ \text{IS} &= f(\text{RH}, \text{PTT}, \text{DC}, \text{CO}, \text{MTT}, \text{IHM}, \text{PI4.0}, \text{T4.0}, \text{MN}). \end{aligned}$$

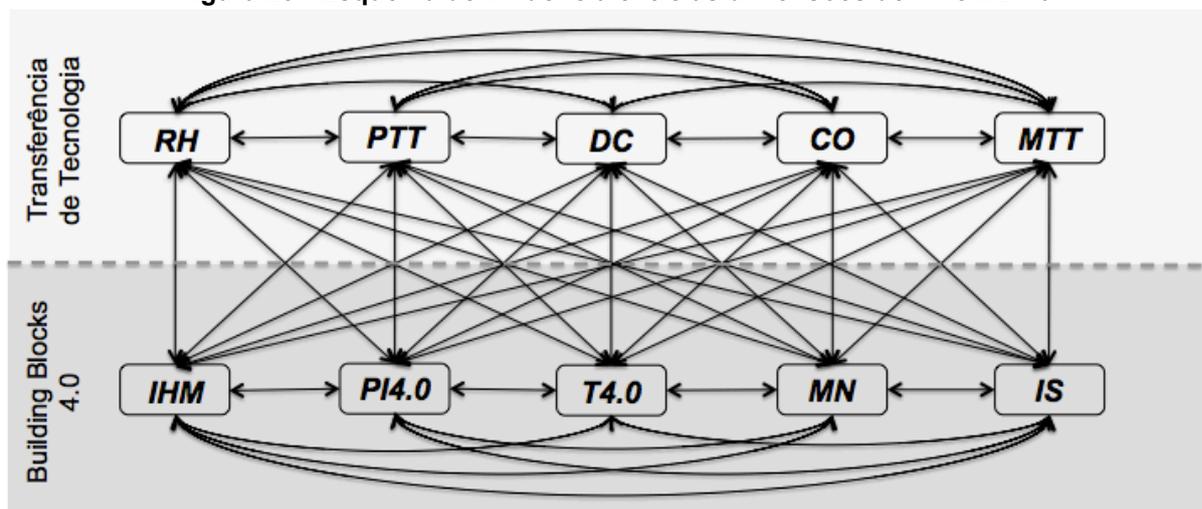
onde,

RH= Recursos Humanos; PTT= Processo de TT; DC= Disseminação do Conhecimento; CO= Cultura Organizacional; MTT= Modos de TT; IHM= Interface Homem-Máquina; PI4.0=Processo de I4.0; T4.0= Tecnologias 4.0; MN= Modelos de Negócios; IS= Integração de Sistemas.

Isso significa que o modelo proposto é uma função de todas as dimensões e que cada dimensão é uma função das outras: todas elas estão interligadas, e

dependem ou têm influência sobre as outras. Para melhor visualizá-lo, o seguinte esquema foi desenvolvido (Figura 23).

Figura 23 - Esquema de influência entre as dimensões de TT e BB4.0



Fonte: Autor (2021)

Sua aplicação consiste em especialistas indicando o nível de influência entre cada dimensão (Questionário 1), em uma escala de 0 a 4: 0 (nenhuma influência); 1 (baixa influência); 2 (média influência); 3 (alta influência); 4 (influência muito alta). Em seguida, o método DEMATEL é aplicado.

O método DEMATEL possibilita analisar quais dessas dimensões são responsáveis por influenciar as demais e quais são as dimensões influenciadas. Com a aplicação desse método, é possível obter o peso para cada uma das dimensões.

O método multicritério DEMATEL foi utilizado nesse modelo, pois é o principal modelo de MCDM (*Multiple-Criteria Decision Method*) capaz de testar a influência entre os fatores. O DEMATEL é um método estendido para construir um modelo estrutural, para analisar a relação de influência entre critérios complexos (CHANG *et al.*, 2011).

### **O Método DEMATEL**

A abordagem DEMATEL - Decision Making Trial and Evaluation Laboratory foi desenvolvida por Gabus e Fontela (1972) e tem como objetivo analisar um conjunto de componentes, fatores, alternativas ou critérios, capazes de exercer influência um sobre o outro nem sempre de forma recíproca.

Baseado em Wu and Lee (2007), esse método de Gabus e Fontela (1972) pode ser resumido da seguinte maneira:

*Passo 1.* Construir a matriz de relacionamento cruzado  $A$  expressando o nível de influência que o elemento  $i$  da linha da matriz exerce sobre o elemento  $j$  na coluna da matriz, onde  $a_{ij}$  é a influência que o elemento  $i$  exerce sobre o elemento  $j$ . Para isto, deve-se estabelecer uma escala de comparação de níveis de influência. Em uma escala de 0 a 4, 0 significa nenhuma influência, 1 pouca influência, 2 média influência, 3 influência alta e 4 influência muito alta.

*Passo 2.* Construir a matriz de relacionamento direto  $D$  calibrando a matriz anterior de acordo com a Equação 1 e com a Equação 2.

$$D = A \times S$$

Equação (1)

onde:

$$s = \max \left( \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n a_{ij}, \max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n a_{ij} \right)^{-1}$$

Equação (2)

*Passo 3.* Construir a matriz de relacionamento total  $T$  de acordo com a Equação 3, onde,  $I$  é a matriz identidade e  $(I - D)^{-1}$  uma matriz inversa.

$$T = D(I - D)^{-1}$$

Equação (3)

*Passo 4.* Calcula-se a soma de cada linha  $r_i$  da matriz  $T$  (Equação 4) e a soma de cada coluna  $c_j$  da matriz  $T$  (Equação 5).

$$r_i = \sum_{j=1}^n t_{ij}$$

Equação (4)

$$c_i = \sum_{j=1}^n t_{ij}$$

Equação (5)

A soma da linha de cada elemento  $r_i$  representa o impacto total que cada elemento possui no conjunto de elementos estudados. A soma da coluna de cada elemento  $c_j$  representa o total de impacto recebido por cada elemento no conjunto de elementos estudados.

Também se deve calcular para cada elemento a soma  $r_i + c_j$ , que representa o envolvimento total que cada elemento possui no conjunto de elementos estudados e a diferença  $r_i - c_j$ , que representa o efeito líquido que cada elemento possui no conjunto de elementos estudados.

A abordagem DEMATEL classifica os componentes estudados em 2 grupos: os influenciados, que possuem r-c negativo e os influenciadores, que possuem r-c positivo. Isto acontece porque os influenciadores exercem um grau de impacto superior ao grau de impacto que recebem dentro do conjunto estudado. E os influenciados recebem um grau de impacto superior ao que exercem sobre os demais componentes dentro do conjunto estudado.

#### 6.2.5.2 Segunda parte

Na segunda parte do modelo, um gerente responsável por cada empresa deve responder o Questionário 2 (Apêndice C) elaborado na Etapa 4. Após sua aplicação e a coleta das respostas, é possível concluir o desenvolvimento matemático do modelo proposto nesta pesquisa.

Para cada dimensão é atribuído um peso ( $w$ ) através do método DEMATEL apresentado, com relação ao seu impacto total no conjunto de dimensões ( $r_i$ ). Inicialmente, a maturidade de cada dimensão, para cada um dos fatores (BB4.0 e TT), é extraída através da Equação 6:

$$M_d = \frac{V_d}{Ni}$$

Equação (6)

sendo que:

$$V_d = \sum_{i=1}^n Q * w$$

Equação (7)

onde:

$V_d$  = Valor da dimensão;

$Ni$  = Número de itens mensurados da dimensão;

$Q$  = resposta da questão;

$w$  = peso da dimensão ( $ri$  normalizado);

$M_d$  = Maturidade da dimensão.

Vale ressaltar que a aplicação da Equação 6 resulta apenas no valor de cada dimensão em uma única empresa analisada. Portanto, o procedimento deve ser repetido para todas as empresas estudadas, para todas as dimensões e para os dois fatores. Finalmente, a soma de todos os Valores das dimensões ( $V_d$ ) resulta na Maturidade de cada Fator (TT e I4.0) em cada empresa, através da utilização da Equação 8.

$$M_f = \sum_{i=1}^n V_d$$

Equação (8)

onde:

$M_f$  = Maturidade do Fator;

$V_d$  = Valor da Dimensão;

Com os resultados da Equação 8, é possível analisar qual é o Nível de Maturidade de cada fator (TT e BB4.0) em cada empresa estudada. E assim, obter o nível de Maturidade da Indústria 4.0, que será apresentado na Etapa 6.

### 6.2.6 Etapa 6: Construção da estrutura do Modelo de Maturidade I4.0-TT

Para finalizar, foi realizada a construção estrutural do Modelo de Maturidade I4.0-TT, com o objetivo de facilitar a análise do posicionamento das empresas em relação a maturidade da Indústria 4.0, dos *Building Blocks* 4.0 e da Transferência de Tecnologia.

Nesse modelo, assume-se o eixo horizontal x como indicador dos *Building Blocks* 4.0, e o eixo vertical y como indicador da Transferência de Tecnologia. Adota-se como pressuposto que esses dois fatores são dependentes um do outro.

Para determinar o valor máximo dos eixos x e y, adota-se que a influência entre as dimensões possuem o valor máximo. Assim, o peso ( $w$ ) de cada dimensão fica 0,1. Posteriormente, adota-se que todas as questões das dimensões obtiveram nota máxima (nota 4 em todas as questões do Questionário 2). Realizando todo o procedimento descrito na Segunda Parte da Etapa 5, a Maturidade de cada Fator ( $M_f$ ) é igual a 12. Sendo assim, assume-se que a escala dos eixos é de 0 a 12.

Em cada um dos eixos, foram colocados os Níveis de Maturidade determinados na Etapa 1. Para cada nível, assumiu-se o seguinte valor:

- Nível 1:  $0,0 \leq M_f < 4,0$ ;
- Nível 2:  $4,0 \leq M_f < 8,0$ ;
- Nível 3:  $8,0 \leq M_f < 12,0$ ;
- Nível 4:  $M_f = 12,0$ .

Dessa maneira, com a interseção dos valores dos Níveis de Maturidade de cada empresa, do eixo x (BB4.0) e do eixo y (TT), é possível obter o Nível de Maturidade da Indústria 4.0. Assim, 09 Níveis de Maturidade foram determinados para essa etapa do modelo, detalhados no Quadro 15:

**Quadro. 15 - Níveis de maturidade da Indústria 4.0**

<b>Nível</b>	<b>Descrição</b>
<i>Nível I</i>	A empresa se encontra em um estado de nível crítico em relação à Indústria 4.0. É preciso investir fortemente em TT, para assim começar a investir na aplicação dos conceitos e tecnologias 4.0.
<i>Nível II</i>	A empresa se encontra em um estado de alerta em relação à Indústria 4.0. Há a existência de alguns componentes relacionados à TT. Porém, não há existência considerável dos componentes relacionados aos Building Blocks 4.0. É preciso investir ainda mais em TT, tendo como foco a busca e implementação dos BB4.0.
<i>Nível III</i>	A empresa se encontra em um estado de alerta em relação à Indústria 4.0. Os componentes relacionados à TT estão presentes, são medidos e controlados. Porém, não há componentes consideráveis dos Building Blocks 4.0. É preciso utilizar os meios de TT existentes na empresa para uma visão de implementação de I4.0. Assim terá um melhor desenvolvimento dos conceitos e tecnologias 4.0. Esse nível indica baixa influência de TT e I4.0.
<i>Nível IV</i>	A empresa se encontra em um estado de alerta em relação à Indústria 4.0. Há a existência de alguns componentes relacionados aos Building Blocks 4.0. Porém, a TT está em nível crítico. É preciso investir fortemente em TT, para um melhor desenvolvimento e aplicação dos conceitos e tecnologias 4.0.
<i>Nível V</i>	A empresa se encontra em um estado aceitável em relação à Indústria 4.0. Há existência tanto dos componentes de TT, como os dos BB4.0. É preciso ainda investir em Transferência de Tecnologia, para um melhor desenvolvimento e aplicação de mais conceitos e tecnologias 4.0. Esse nível indica forte influência de TT e I4.0.
<i>Nível VI</i>	A empresa se encontra em um estado aceitável em relação à Indústria 4.0. Há existência dos componentes de dos Building Blocks 4.0, e mais ainda dos componentes de TT, que são medidos e controlados. É preciso investir mais ainda em TT e direcionar seu foco para os conceitos 4.0, assim a indústria 4.0 terá uma melhor performance.
<i>Nível VII</i>	A empresa se encontra em um estado aceitável em relação à Indústria 4.0. Os componentes relacionados aos Building Blocks 4.0 estão presentes, são medidos e controlados. Porém, a TT está em nível crítico. É preciso investir fortemente em TT, para um melhor desenvolvimento e aprimoramento dos conceitos e tecnologias 4.0. Esse nível indica baixa influência de TT e I4.0.
<i>Nível VIII</i>	A empresa se encontra em um estado aceitável em relação à Indústria 4.0. Há existência dos componentes de TT, e mais ainda dos componentes dos Building Blocks 4.0, que são medidos e controlados. É preciso ainda investir em Transferência de Tecnologia, para uma melhor performance dos conceitos e tecnologias 4.0.
<i>Nível IX</i>	A empresa se encontra em um estado ótimo em relação à Indústria 4.0. Há grande existência tanto dos componentes de TT, como os dos BB4.0, ambos são medidos e controlados. Nessa etapa, é preciso focar em Melhoria Contínua para atingir um nível ideal de Indústria 4.0. Esse nível indica forte influência de TT e I4.0.

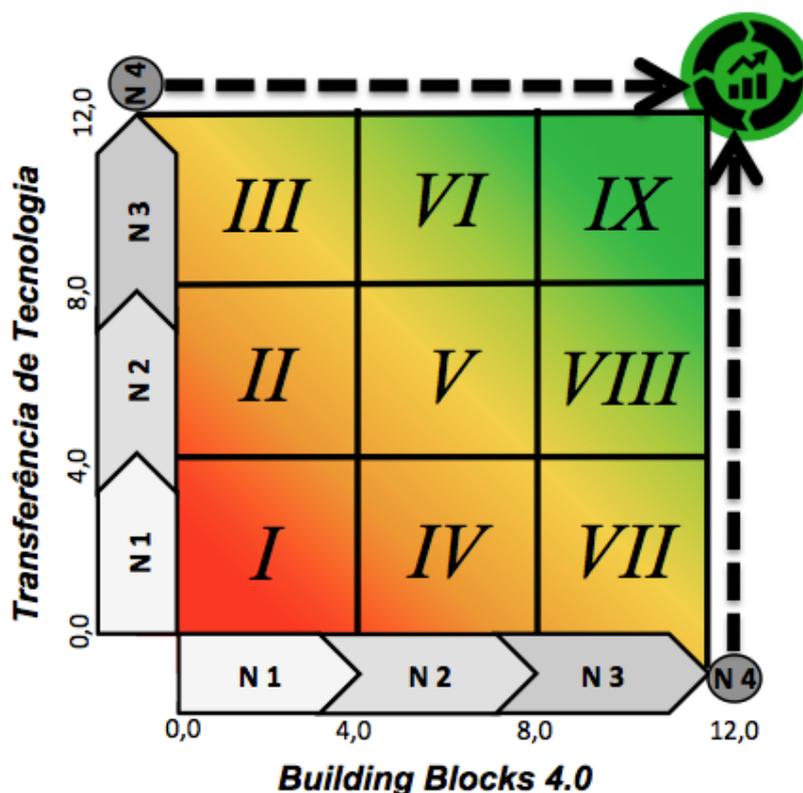
**Fonte: Autoria Própria (2021)**

Dos níveis I ao IX, o sistema de produção se torna cada vez mais automatizado, flexível e inteligente. Os componentes tanto de TT como de BB4.0 se baseiam no nível baixo, o que significa que essa estrutura funciona em sequência. O nível ideal de Indústria 4.0 seria um nível X – Melhoria Contínua (interseção dos níveis 4 de TT e BB4.0). Esse nível precisa de uma implementação de 100% dos componentes de Transferência de Tecnologia e Building Blocks 4.0. Assim, é necessário que haja um planejamento estruturado de Melhoria Contínua para que a maturidade da Indústria 4.0 mantenha-se nesse nível na organização.

A estrutura do modelo foi baseada no modelo de Qin e Liu (2016), porém, com um contexto totalmente diferente. Os autores combinam os níveis de Inteligência com Engenharia, para analisar a maturidade das tecnologias de I4.0. Já nesse trabalho, são os níveis de TT e dos BB4.0 que são combinados, para analisar a maturidade da I4.0 na empresa.

Dessa maneira, a Figura 24 apresenta o Modelo de Maturidade I4.0-TT.

Figura 24 - Modelo de Maturidade I4.0-TT



Fonte: Autor (2021)

Com esse modelo é possível analisar o nível de maturidade da Indústria 4.0, através da Transferência de Tecnologia e dos *Building Blocks* 4.0. Assim, é possível verificar se a TT e a I4.0 realmente estão correlacionados, e se apresentam uma influência mútua.

Com esse modelo realizado, também é possível analisar visualmente o Nível de Maturidade de cada Dimensão.

## 7 APLICAÇÃO DO MODELO DE MATURIDADE TT-I4.0

### 7.1 APLICAÇÃO DOS QUESTIONÁRIOS

Antes de coletar dados, este estudo estabeleceu a validade do conteúdo da pesquisa por meio de uma extensa revisão de literatura, discussões com profissionais e especialistas acadêmicos na área e um pré-teste da pesquisa.

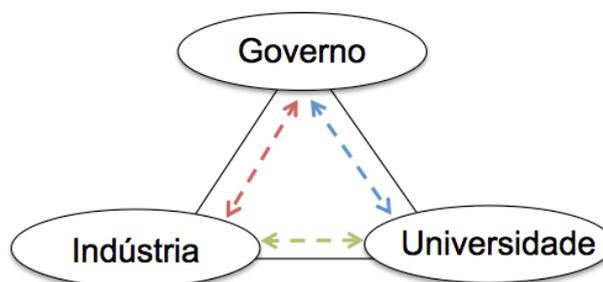
Para a validação do questionário e a título de qualificação dessa pesquisa, foi aplicado um teste piloto em uma empresa. Essa empresa, a qual chamaremos de Empresa X, é uma multinacional que situa-se na Região dos Campos Gerais (Paraná – Brasil). Seu ramo é de embalagens. Essa empresa possui controle de produção em seus processos e produtos, bem como, visa a melhoria contínua e implementação de novas tecnologias relacionadas à Quarta Revolução Industrial.

Após a aplicação do teste piloto, o modelo foi aplicado em empresas de diferentes setores da Região dos Campos Gerais (Paraná - Brasil).

Para o Questionário 1, que objetiva analisar a influência entre TT e I4.0, foi utilizado o Triângulo de Sábato para selecionar os respondentes nessa etapa. O Triângulo de Sábato é um modelo que apresenta as ligações entre ciência, indústria e governo, que informou discussões sobre políticas científicas em toda a América Latina. Foi desenvolvido nas décadas de 1960 e 1970 por Jorge Alberto Sábato.

Dessa maneira, foram escolhidos aleatoriamente 02 representantes de instituições governamentais, 02 representantes da indústria e 02 representantes da universidade para responder esse primeiro questionário. Todos os respondentes possuem conhecimento em Indústria 4.0 e em Transferência de Tecnologia. A Figura 25 apresenta o Triângulo de Sábato utilizado como base para escolha dos respondentes.

Figura 25 - Triângulo de Sábato



Fonte: Adaptado de Sábato e Botana (1975)

Para o Questionário 2, que objetiva analisar a maturidade dos Conceitos e Tecnologias 4.0 e da Transferência de Tecnologia, foram selecionadas 07 empresas de grande porte para responder às questões. Todas essas empresas têm pretensão em implementar conceitos e tecnologias de Indústria 4.0. Essas empresas foram escolhidas pelo motivo de terem parcerias com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

As sete indústrias nas quais o modelo foi aplicado, localizam-se no estado do Paraná. Optou-se por aplicação em empresas de ramos diferentes para tornar a ferramenta mais genérica possível para ser replicada posteriormente em outros ramos produtivos, e também obter uma visão da maturidade em diferentes setores. Por questão de confiabilidade, as indústrias serão chamadas de A, B, C, D, E, F e G. O Quadro 16 apresenta o segmento industrial de cada uma das empresas.

Quadro 16 - Segmento industrial das empresas

EMPRESA	SEGMENTO INDUSTRIAL
A	Embalagens
B	Alimentos
C	Cosméticos
D	Automotiva
E	Papel e celulose
F	Materiais de construção civil
G	Autopeças

Fonte: Autor (2021)

Quanto ao critério de aplicação, o questionário foi aplicado a funcionários que possuem conhecimento de todos os setores da indústria e que estão ligados diretamente no processo de desenvolvimento da Indústria 4.0 em suas respectivas indústrias.

O fornecimento dos questionários foi através do Instrumento *Google Forms*.

Após a criação dos questionários, o link para respostas foi disponibilizado por e-mail ao gestor de cada empresa analisada.

Os dados obtidos foram compilados em planilhas com ajuda do *software Excel*. Não houve revelação da razão social da empresa, pois foram determinados nomes fictícios, a fim de anonimato na tabulação de dados. Todos os gestores receberam um termo de confiabilidade assinado pelo pesquisador, a qual forneceu um relatório individual de seu diagnóstico final para cada empresa que desejou, a título de conhecimento.

## 7.2 PROCESSO MATEMÁTICO

Com a aplicação de ambos os questionários nas empresas descritas, foi possível desenvolver todo o processo matemático apresentado na Etapa 5 da metodologia (Seção 6.3.5).

A Etapa 5 (modelo matemático) se divide em duas partes, cada uma com seus objetivos. Dessa maneira, a seguir são apresentados todos os passos seguidos na aplicação do modelo, em cada uma dessas partes.

### 7.2.1 Primeira Parte

Com a aplicação do Questionário 1, os 06 especialistas descritos anteriormente identificaram qual o nível de influência entre todas as dimensões de Transferência de Tecnologia e Indústria 4.0, em uma escala de 0 a 4. Após isso, foi realizada a média de todas as respostas, e a seguinte matriz (Tabela 1) foi desenvolvida, para assim iniciar o método DEMATEL.

Tabela 1 - Nível de influência entre todas as dimensões

Dimensões		Pessoas		Processo		Tecnologias		Estratégia e Organização		Integração	
		<i>RH</i>	<i>IHM</i>	<i>PTT</i>	<i>PI4.0</i>	<i>DC</i>	<i>T4.0</i>	<i>CO</i>	<i>MN</i>	<i>MTT</i>	<i>IS</i>
Pessoas	<i>RH</i>	0.00	3.67	3.83	3.50	3.33	3.33	3.00	2.67	3.17	3.17
	<i>IHM</i>	3.17	0.00	2.67	2.67	2.17	2.50	2.33	1.33	2.00	3.00
Processo	<i>PTT</i>	2.83	2.67	0.00	1.83	3.50	2.83	2.83	2.33	3.67	3.33
	<i>PI4.0</i>	3.17	3.17	2.50	0.00	2.00	3.67	3.00	2.67	2.50	3.17
Tecnologias	<i>DC</i>	3.17	3.17	4.00	3.50	0.00	2.83	2.67	2.50	3.00	2.83
	<i>T4.0</i>	3.17	3.50	2.67	3.50	1.83	0.00	2.67	3.17	2.50	3.50
Estratégia e Organiz.	<i>CO</i>	2.83	3.00	3.50	3.00	3.83	3.17	0.00	3.83	3.67	3.33
	<i>MN</i>	3.00	2.00	3.00	3.17	3.33	3.67	3.83	0.00	3.17	2.83
Integração	<i>MTT</i>	2.50	2.50	3.33	2.33	3.17	3.17	2.50	1.83	0.00	2.50
	<i>IS</i>	3.17	2.00	2.83	3.67	2.83	2.83	1.67	3.00	3.00	0.00

Fonte: Autoria Própria (2021)

A partir dessa matriz inicial, foi construída a matriz de relacionamento direto  $D$ , utilizando as Equações 1 e 2. Após a matriz  $D$ , foi construída a matriz de relacionamento total  $T$  de acordo com a Equação 3. E assim, foi possível calcular a soma de cada linha  $r_i$  da matriz  $T$ , que representa o impacto total que cada elemento possui no conjunto de elementos estudados, e a soma de cada coluna  $c_i$  da matriz  $T$ , que representa o total de impacto recebido por cada elemento no conjunto de elementos estudados.

Para cada dimensão, também foi calculado a soma  $r_i + c_i$ , que representa o envolvimento total que cada elemento possui no conjunto de elementos estudados e a diferença  $r_i - c_i$ , que representa o efeito líquido que cada elemento possui no conjunto de elementos estudados.

A tabela 2 apresenta os resultados encontrados na primeira etapa do método DEMATEL: a soma de cada linha  $r_i$ , de cada coluna  $c_i$ , a soma  $r_i + c_i$  e a diferença  $r_i - c_i$ .

**Tabela 2 - Resultados encontrados a partir do método DEMATEL**

<b>Dimensões</b>	<b><i>ri</i></b>	<b><i>ci</i></b>	<b><i>ri + ci</i></b>	<b><i>ri - ci</i></b>
Recursos Humanos	0.1107	0.1021	0.2128	0.0086
Interface Homem-Máquina	0.0840	0.0978	0.1818	-0.0137
Processos TT	0.0979	0.1064	0.2043	-0.0086
Processos I4.0	0.0980	0.1025	0.2005	-0.0045
Disseminação do Conhecimento	0.1040	0.0982	0.2023	0.0058
Tecnologias 4.0	0.1000	0.1053	0.2053	-0.0053
Cultura Organizacional	0.1129	0.0930	0.2059	0.0199
Modelos de Negócios	0.1064	0.0893	0.1956	0.0171
Modos de TT	0.0910	0.1008	0.1918	-0.0098
Integração de Sistemas	0.0952	0.1045	0.1997	-0.0093

**Fonte: Autoria Própria (2021)**

### 7.2.2 Segunda Parte

Na parte anterior foi possível obter os pesos ( $w$ ) para cada uma das dimensões desse estudo, para assim dar início a segunda parte dessa etapa do modelo. Esses pesos foram obtidos a partir da soma de cada linha  $r_i$ , que representa o impacto geral dado de cada fator.

Sete gestores responderam o Questionário 2, que objetiva analisar a maturidade dos Conceitos e Tecnologias 4.0 e da Transferência de Tecnologia na empresa, dando notas de 0 a 4 para cada uma das questões.

Após a coleta das respostas dos questionários aplicados, e obtendo os pesos ( $w$ ) das dimensões, foi possível concluir o desenvolvimento matemático do modelo proposto nesta pesquisa. A partir das Equações 6 e 7 foi extraído o Valor final ( $V_d$ ) e a Maturidade de cada Dimensão ( $M_d$ ). Assim, com a somatória dos valores das dimensões ( $V_d$ ), foi obtido a Maturidade de cada Fator ( $M_f$ ) para cada uma das empresas, por meio da utilização da Equação 8.

Dessa maneira, a Tabela 3 apresenta os valores encontrados para cada uma das dimensões e fatores.

Tabela 3 - Valores encontrados para cada fator e dimensão

EMPRESA	Fatores	Transferência de Tecnologia					Building Blocks 4.0				
	Dimensões	RH	PTT	DC	CO	MTT	IHM	PI4.0	T4.0	MN	IS
	w	0.111	0.098	0.104	0.113	0.091	0.084	0.098	0.100	0.106	0.095
A	Valor Dimensão	1.439	0.979	1.352	1.580	1.911	0.672	1.470	1.399	1.489	0.571
	Maturidade Dimensão	0.288	0.244	0.270	0.225	0.212	0.224	0.183	0.155	0.297	0.114
	Maturidade Fator	<b>7.2607</b>					<b>5.6021</b>				
B	Valor Dimensão	0.221	0.783	0.312	0.790	0.273	0.420	0.000	0.199	0.000	0.190
	Maturidade Dimensão	0.044	0.195	0.062	0.112	0.030	0.140	0.000	0.022	0.000	0.038
	Maturidade Fator	<b>2.3795</b>					<b>0.8105</b>				
C	Valor Dimensão	1.217	0.978	0.728	2.257	1.183	0.756	1.960	1.099	0.425	0.666
	Maturidade Dimensão	0.243	0.245	0.145	0.322	0.131	0.252	0.245	0.122	0.085	0.133
	Maturidade Fator	<b>6.3646</b>					<b>4.9079</b>				
D	Valor Dimensão	0.664	1.174	0.936	1.692	2.092	0.504	0.980	1.999	0.745	0.952
	Maturidade Dimensão	0.132	0.293	0.187	0.242	0.233	0.168	0.123	0.222	0.149	0.190
	Maturidade Fator	<b>6.5605</b>					<b>5.1801</b>				
E	Valor Dimensão	1.218	1.077	1.040	2.144	1.820	0.588	1.470	1.799	1.489	0.952
	Maturidade Dimensão	0.244	0.269	0.208	0.306	0.202	0.196	0.184	0.200	0.298	0.190
	Maturidade Fator	<b>7.2985</b>					<b>6.2987</b>				
F	Valor Dimensão	0.553	0.783	0.312	0.564	1.183	0.420	0.392	0.000	0.213	0.286
	Maturidade Dimensão	0.111	0.196	0.062	0.081	0.131	0.140	0.049	0.000	0.043	0.057
	Maturidade Fator	<b>3.3957</b>					<b>1.3105</b>				
G	Valor Dimensão	1.107	1.077	0.624	1.242	1.092	0.504	1.078	0.900	0.425	0.381
	Maturidade Dimensão	0.221	0.269	0.125	0.177	0.121	0.168	0.135	0.100	0.085	0.076
	Maturidade Fator	<b>5.1410</b>					<b>3.2882</b>				

Fonte: Autoria Própria (2021)

Dessa maneira encerra-se o procedimento matemático do modelo. Feito isso, é possível analisar os resultados de cada empresa com o modelo proposto nesse trabalho. Todos os resultados, análises e discussões serão apresentados no próximo capítulo.

## 8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

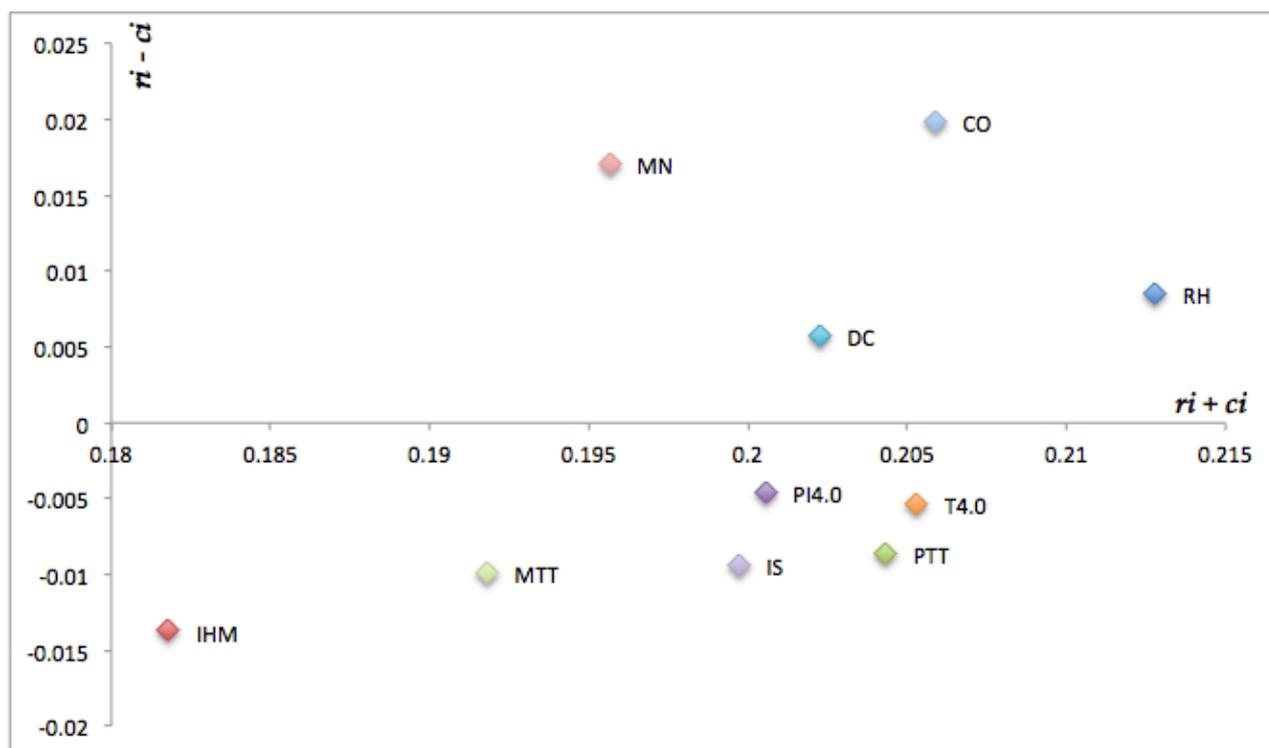
### 8.1 INFLUÊNCIA DAS DIMENSÕES

Após a aplicação do modelo proposto, na primeira parte do modelo foi possível obter os resultados referentes às dimensões que influenciam umas às outras, e também os pesos das dimensões.

Com a abordagem DEMATEL, foi possível classificar os componentes estudados em 2 grupos: os influenciados, que possuem  $r-c$  negativo e os influenciadores, que possuem  $r-c$  positivo. Isto acontece porque os influenciadores exercem um grau de impacto superior ao grau de impacto que recebem dentro do conjunto estudado. E os influenciados recebem um grau de impacto superior ao que exercem sobre os demais componentes dentro do conjunto estudado.

A Figura 26 apresenta um gráfico que representa essa situação encontrada no modelo. As dimensões que estão acima do eixo  $x$  ( $ri + ci$ ), são as dimensões responsáveis por influenciar as demais, e as que estão abaixo desse eixo são as dimensões que são influenciadas. Nesse gráfico, é também analisado que quanto mais para a direita do mesmo, ou seja, maior o valor de  $ri + ci$ , maior o envolvimento total que cada dimensão possui nesse conjunto estudado.

**Figura 26 - Dimensões influenciadoras e influenciadas, e envolvimento total que cada dimensão possui no conjunto**



Fonte: Autoria Própria (2021)

Percebe-se que a dimensão que possui um maior envolvimento total no conjunto é o *Recursos Humanos*. Essa dimensão influencia as demais para que muitas coisas aconteçam, ela é o “pulmão” desse sistema, é uma dimensão fundamental para toda a empresa. Por esse motivo é ela que possui um maior envolvimento total.

Para facilitar a visualização, a Tabela 4 foi elaborada com as dimensões que são responsáveis por influenciar as demais e os que são influenciadas.

**Tabela 4 - Dimensões influenciadas e influenciadoras**

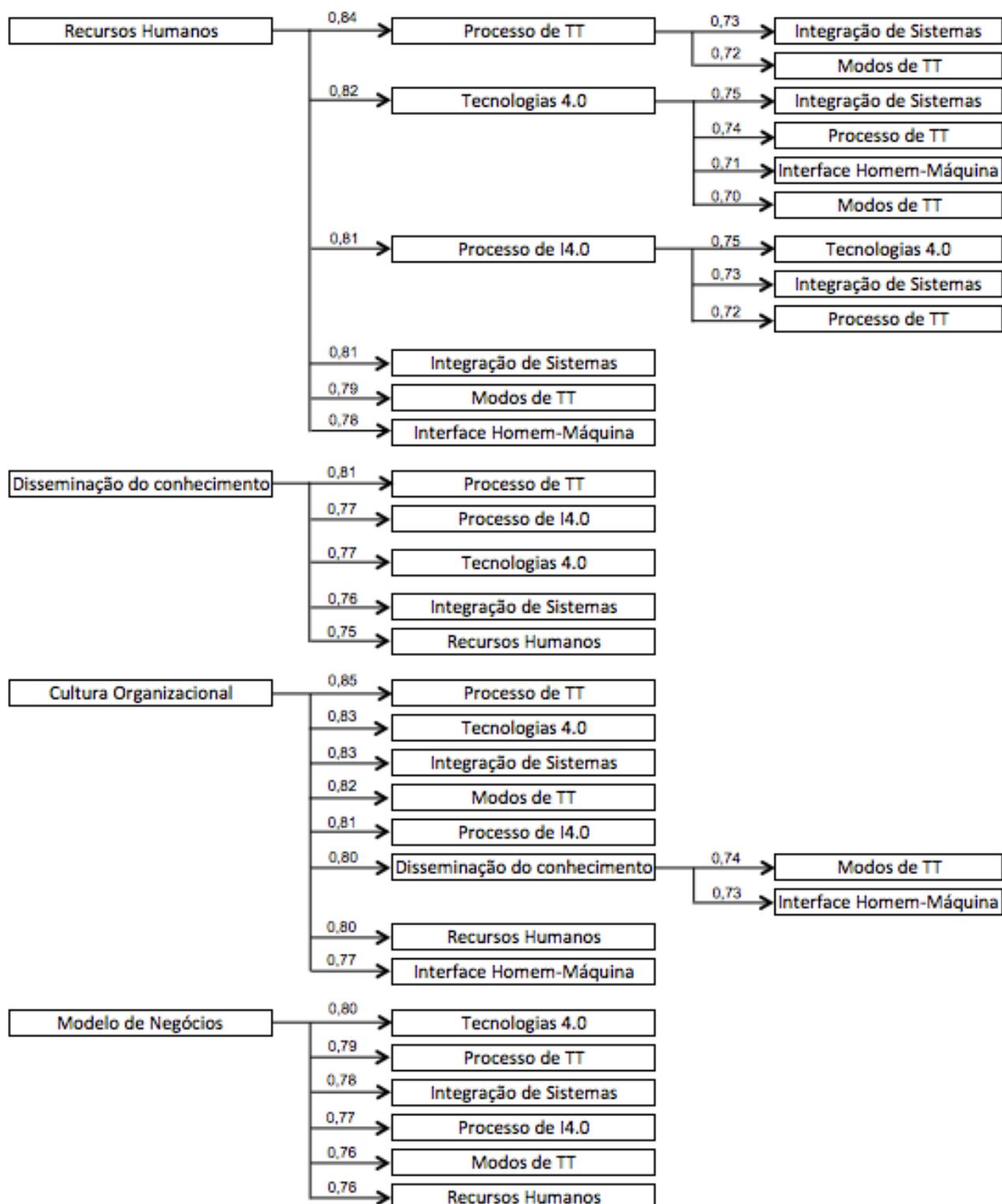
<b>Dimensões Influenciadoras</b>	<b>Dimensões Influenciadas</b>
Cultura Organizacional	Modos de TT
Modelos de Negócios	Interface Homem-Máquina
Recursos Humanos	Processo I4.0
Disseminação do Conhecimento	Tecnologias 4.0
	Processo TT
	Integração de Sistemas

Fonte: Autoria Própria (2021)

Das dimensões influenciadoras, três delas são referentes à Transferência de Tecnologia (Cultura Organizacional, Recursos Humanos e Disseminação do Conhecimento) e apenas uma é referente à Building Blocks 4.0 (Modelos de Negócios). Isso comprova o fato de que a TT é um fator estratégico para alavancar os conceitos e tecnologias 4.0 nas empresas.

Na Figura 27 é possível perceber os principais pares de correlação; isto é, as direções de influência mais importantes e relevantes deste conjunto, apresentados por meio da matriz de relação total DEMATEL T (acima de 0,70). O sentido da flecha é de dimensão influenciadora para dimensão influenciada, e o número acima é seu grau de relevância. Assim, é possível visualizar quais dimensões influenciam cada uma delas, e a sua intensidade.

Figura 27 - Influências mais relevantes do conjunto



Fonte: Autoria Própria (2021)

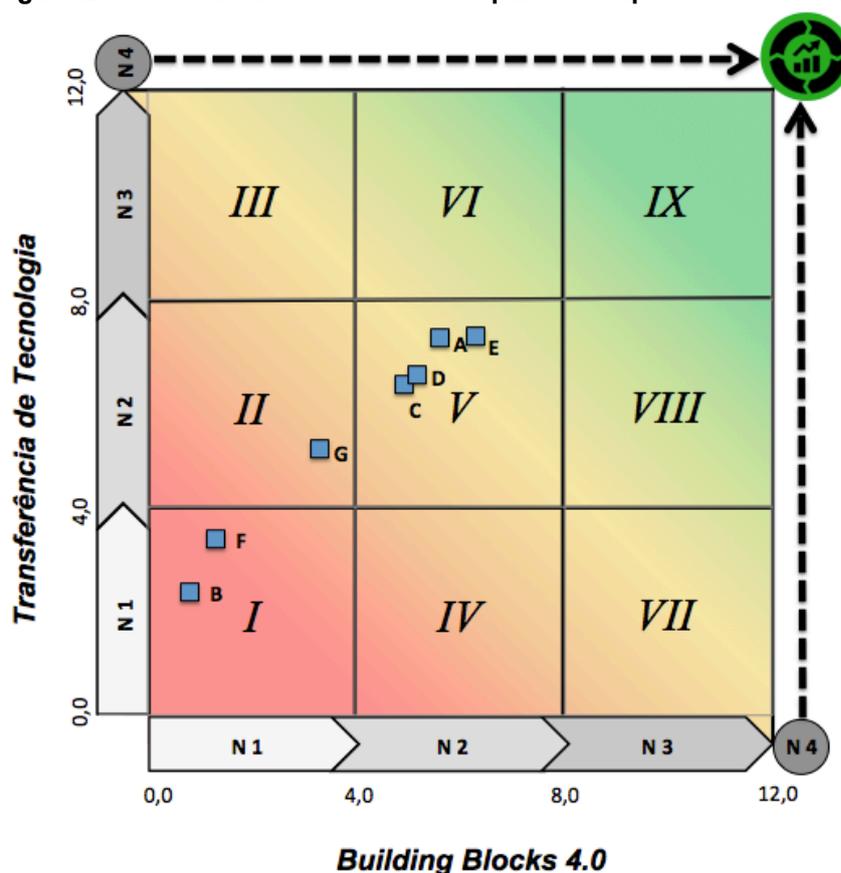
O objetivo de saber quais são as dimensões influenciadoras e influenciadas, é para poder traçar estratégias para as empresas para elevar o nível de maturidade de I4.0. Além disso, esse modelo é baseado nas influências entre as dimensões.

## 8.2 NÍVEL DE MATURIDADE I4.0-TT

Com os resultados obtidos na segunda parte do modelo, é possível identificar o Nível de Maturidade de Indústria 4.0 de cada empresa estudada. Além disso, é possível identificar também o nível de Maturidade de cada Dimensão, para assim um diagnóstico de cada empresa ser apresentado.

A Figura 28 apresenta a colocação das Empresas A, B, C, D, E, F e G no Modelo de Maturidade I4.0-TT.

Figura 28 - Nível de Maturidade I4.0-TT para as empresas estudadas



Fonte: Autoria Própria (2021)

As Empresa A, C, D e E encontram-se no Nível V de Indústria 4.0. Isso significa que elas apresentam-se em um estado aceitável. Há existência tanto dos componentes de TT, como os dos BB4.0. É preciso ainda investir em Transferência de Tecnologia, para um melhor desempenho e aplicação de mais conceitos e tecnologias 4.0. Esse nível indica forte influência de TT e I4.0.

A Empresa G encontra-se no Nível II de Indústria 4.0. É um estado de alerta em relação à Indústria 4.0. Há a existência de alguns componentes relacionados à TT. Porém, não há existência considerável dos componentes relacionados aos *Building Blocks* 4.0. É preciso investir ainda mais em TT, tendo como foco a busca e implementação dos BB4.0.

Já as Empresas B e F encontram-se no Nível I de Indústria 4.0. Ambas as empresas apresentam um estado de nível crítico em relação à Indústria 4.0. É preciso investir fortemente em TT, para assim começar a investir na aplicação dos conceitos e tecnologias 4.0.

Para cada empresa analisada, foi feito um relatório de como a empresa está tanto para Transferência de Tecnologia como para Indústria 4.0, e também, estratégias que poderão ser utilizadas para que o nível de maturidade da empresa se eleve. Esse diagnóstico é apresentado a seguir, na Seção 8.3.

Com esse modelo, além de verificar o nível de maturidade de Indústria 4.0 que a organização se encontra, é possível analisar se realmente existe influência entre TT e I4.0. Se ocorresse muita dispersão dos resultados (principalmente nível III e VII), significava que essa influência não era tão forte. Como os resultados se concentraram principalmente nos níveis I, V e IX, significa que realmente existe essa influência entre TT e I4.0, proposta no modelo teórico.

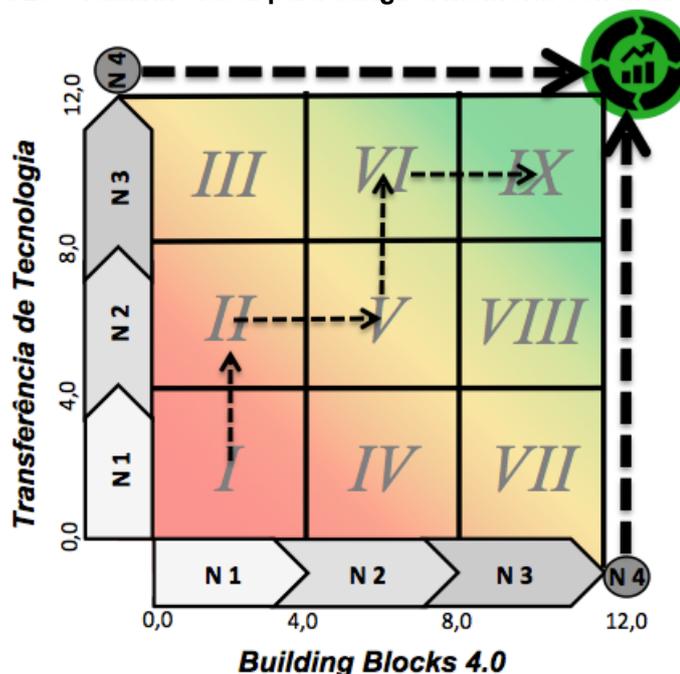
### 8.3 DIAGNÓSTICO DAS EMPRESAS

Com a influência das dimensões e o nível de maturidade de I4.0 de cada empresa, é possível realizar um diagnóstico individual de cada empresa participante, e apresentar estratégias e ações necessárias para evoluir para um próximo nível.

A Indústria 4.0 é um tema muito complexo e difícil de ser implementado. Por esse motivo, estratégias serão apresentadas para que através do modelo de maturidade proposto, a empresa possa avançar nesse contexto.

Primeiramente, foi traçado um caminho no modelo para que a empresa possa ter como meta. Chama-se de caminho ideal para atingir a melhoria contínua na Indústria 4.0 (Figura 29).

Figura 29 - Caminho ideal para atingir a melhoria contínua na I4.0



Fonte: Autoria Própria (2021)

Esse caminho tem como objetivo atingir primeiramente um maior nível de maturidade de Transferência de Tecnologia, para posteriormente atingir um maior nível de maturidade de Building Blocks 4.0. Com isso, um maior nível de maturidade de Indústria 4.0 será alcançado. Essa ordem deve-se ao fato de que três das quatro dimensões influenciadoras são referentes à TT, ou seja, a TT torna-se um aliado aos BB 4.0 para a evolutiva implementação da Indústria 4.0 nas organizações.

Tendo como foco o nível de maturidade de I4.0 a ser alcançado, o próximo passo é identificar o estágio atual de cada uma das dimensões de TT e BB4.0. Para atingir um próximo nível em cada dimensão, muitas ações são necessárias. Para facilitar esse processo, a estratégia sugerida é elencar prioridades no plano de ação, na seguinte ordem:

- 1) Ações relacionadas às dimensões que influenciam as dimensões com maior carência na empresa;

- 2) Ações relacionadas às dimensões influenciadoras (Recursos Humanos, Disseminação do Conhecimento, Cultura Organizacional e Modelo de Negócio);
- 3) Ações relacionadas às dimensões, tendo em vista a viabilidade e investimento necessário.

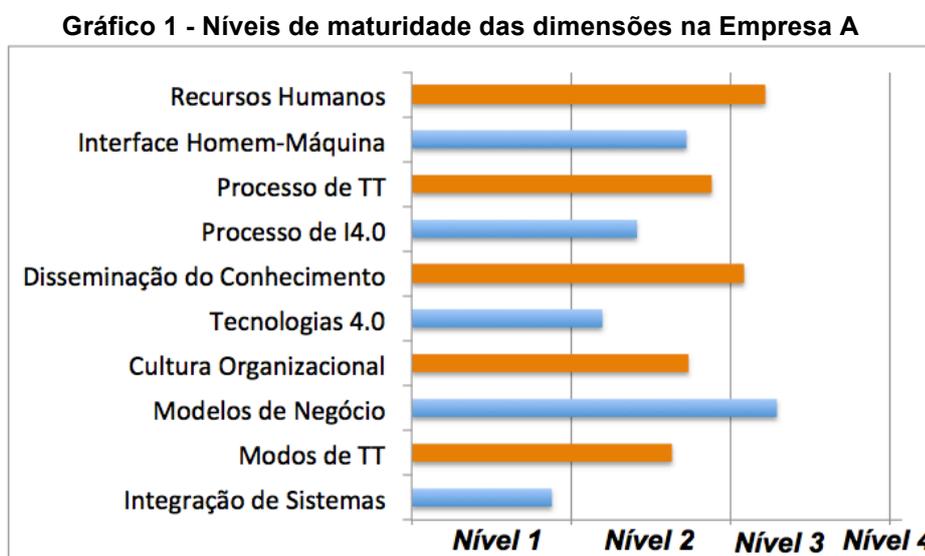
Diante do exposto, a seguir serão apresentados os diagnósticos individuais de cada uma das empresas estudadas, juntamente com sugestões de ações e estratégias para que o nível de maturidade seja elevado.

As sugestões apresentadas possuem relação direta com as carências identificadas através das respostas obtidas nos questionários. No entanto, as empresas devem avaliar se os avanços nos níveis estão compatíveis com seus respectivos objetivos.

### 8.3.1 Empresa A

De acordo com o modelo apresentado (Figura 33), a Empresa A situa-se no Nível V (Aceitável) de Indústria 4.0. Isso significa que há existência tanto dos componentes de TT, como os dos BB4.0, mas ainda há muito para aprimorar.

O Gráfico 1 apresenta os níveis em que cada dimensão de TT e BB 4.0 se enquadra, a partir dos resultados obtidos.



Fonte: Autoria Própria (2021)

Percebe-se que três dessas dimensões estão no Nível 3: Recursos Humanos, Disseminação do Conhecimento, e Modelos de Negócios. Dessas, duas são relacionadas à Transferência de Tecnologia (RH e DC), e uma à Building Blocks 4.0 (MN). A dimensão que apresentou um nível mais baixo, foi Integração de Sistemas, uma dimensão de BB4.0.

A fim de encontrar medidas para elevar o nível de maturidade de Indústria 4.0 da empresa, o Quadro 17 apresenta o nível atual de cada dimensão, e ações necessárias para que a mesma possa atingir o próximo nível.

**Quadro 17 - Ações sugeridas para cada dimensão da Empresa A**

<b>DIMENSÃO</b>	<b>NÍVEL ATUAL</b>	<b>PRÓXIMO NÍVEL</b>	<b>AÇÕES</b>
Recursos Humanos	Nível 3	Nível 4	Realizar capacitação das habilidades técnicas e gerenciais relacionadas a I4.0 em mais da metade dos setores.
Interface Homem-Máquina	Nível 2	Nível 3	Incentivar a autonomia e liberdade para criação.
Processo de TT	Nível 2	Nível 3	Realizar parcerias com escritórios de TT, agências de desenvolvimento, entre outros facilitadores de TT; Transferir tecnologias com mais frequência para outras empresas.
Processo de I4.0	Nível 2	Nível 3	Implementar em mais da metade dos setores: flexibilidade em produzir produtos altamente personalizados; sistema integrado de sensores; manutenção inteligente; recursos digitais de modelagem e simulação de desempenho.
Disseminação do Conhecimento	Nível 3	Nível 4	Investir em pesquisas, com o objetivo de possuir patentes e publicações científicas.
Tecnologias 4.0	Nível 2	Nível 3	Implementar em mais da metade dos setores: sistemas embarcados e inteligentes; Big Data; Rastreabilidades; Cloud Manufacturing; Realidade Aumentada; Manufatura Aditiva; Inteligência Artificial.
Cultura Organizacional	Nível 2	Nível 3	Implementar mais consultorias na empresa; Participar de eventos de networking; Realizar parcerias com programas de mestrados e doutorados; Compartilhar os resultados dos colaboradores em seminários.
Modelos de Negócios	Nível 3	Nível 4	Implementar indicadores de desempenho para ações relacionadas à I4.0
Modos de TT	Nível 2	Nível 3	Realizar fortes parcerias com Universidades.
Integração de Sistemas	Nível 1	Nível 2	Implementar sistemas de troca informações em tempo real com sua cadeia de suprimentos, e atualização bidirecional de informações entre as instalações e equipamentos reais com as cópias digitais.

Fonte: Autor (2021)

Porém, muitas são as ações necessárias para que o nível de Maturidade de Indústria 4.0 se eleve na empresa. Para isso, a estratégia a ser utilizada será priorizar as dimensões que influenciam as demais.

Como a dimensão *Integração de Sistemas* é a mais precária na Empresa A, foi observado na Figura 27 que quatro dimensões (Recursos Humanos, Disseminação do Conhecimento, Cultura Organizacional e Modelo de Negócio) influenciam a mesma.

Dessa maneira, sugere-se que é preciso priorizar essas quatro dimensões nos planos de ação. Por consequência, *Integração de Sistemas* e outras dimensões beneficiarão-se das melhorias obtidas nessas quatro dimensões mencionadas.

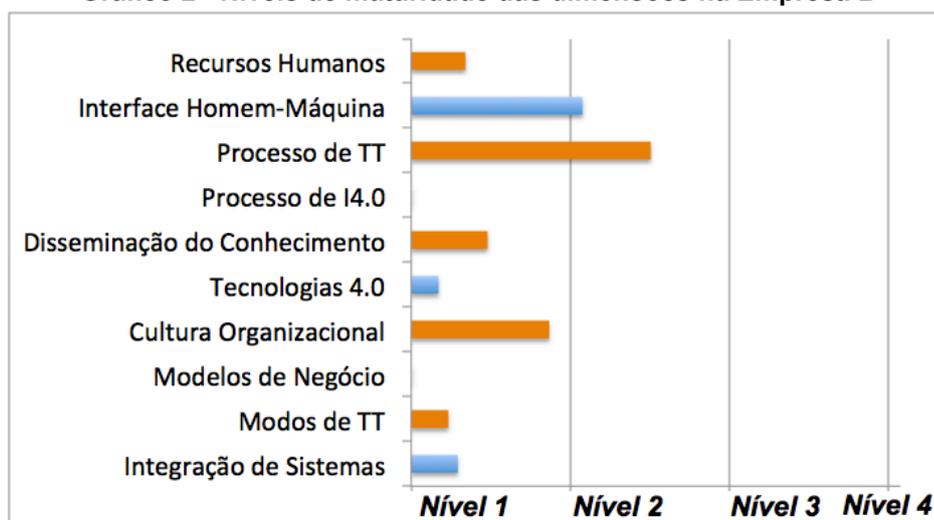
Posteriormente, deve-se analisar a viabilidade e o investimento necessário para cada uma das ações apresentadas, para assim elencar quais ações devem ser executadas.

Para que a Empresa A avance para o Nível VI, é preciso investir fortemente em Transferência de Tecnologia. Assim, será possível obter um melhor desempenho e aplicação de mais conceitos e tecnologias 4.0.

### 8.3.2 Empresa B

De acordo com o modelo apresentado (Figura 33), a Empresa B situa-se no Nível I de Indústria 4.0. É considerado um nível crítico, onde tanto os conceitos e tecnologias 4.0, como a Transferência de Tecnologia, são praticamente inexistentes. Ainda há muito para avançar nessa empresa.

O Gráfico 2 apresenta os níveis em que cada dimensão de TT e BB 4.0 se enquadra, a partir dos resultados obtidos.

**Gráfico 2 - Níveis de maturidade das dimensões na Empresa B**

Fonte: Autoria Própria (2021)

Percebe-se que apenas duas dessas dimensões encontram-se no Nível 2: *Interface Homem-Máquina* e *Processo de TT*. As demais dimensões estão todas no Nível 1, e duas ainda estão no Nível 0 (*Processo de I4.0* e *Modelos de Negócios*).

A fim de encontrar medidas para elevar o nível de maturidade de Indústria 4.0 da empresa, o Quadro 18 apresenta o nível atual de cada dimensão, e ações necessárias para que a mesma possa atingir o próximo nível.

**Quadro 18 - Ações sugeridas para cada dimensão da Empresa B**

DIMENSÃO	NÍVEL ATUAL	PRÓXIMO NÍVEL	AÇÕES
Recursos Humanos	Nível 1	Nível 2	Implementação de treinamentos mais abrangentes na empresa para todos os funcionários; Iniciar uma capacitação de das habilidades e competências de I4.0; Implementar interdisciplinaridade nos grupos de trabalho.
Interface Homem-Máquina	Nível 2	Nível 3	Implementar programas de incentivo à novas ideias e criações, assim como autonomia; Investir fortemente em treinamento de novas tecnologias.
Processo de TT	Nível 2	Nível 3	Analisar a viabilidade de parcerias com escritórios de TT, agências de desenvolvimento, entre outros facilitadores de TT.
Processo de I4.0	Nível 0	Nível 1	Iniciar a implementação de: produtos personalizados, automatização de alguns processos, sistema integrado de sensores, manutenção inteligente, modelagem e simulação.
Disseminação do Conhecimento	Nível 1	Nível 2	Iniciar um investimento em pesquisas, com o objetivo de possuir patentes e publicações científicas; Iniciar a digitalização e partilhamento de processos de negócios internamente e com demais parceiros.
Tecnologias 4.0	Nível 1	Nível 2	Iniciar a implementação de: produtos com sistemas embarcados e inteligentes; rastreabilidade do produto final; Big Data; Cloud Manufacturing;

			Segurança da Informação; Realidade aumentada; Manufatura Aditiva; Robôs Autônomos.
Cultura Organizacional	Nível 1	Nível 2	Iniciar a parceria com programas de mestrado e doutorado; Aumentar o número de estágios na organização; Participar de eventos de networking; Iniciar programas de incentivo à inovação.
Modelos de Negócios	Nível 0	Nível 1	Iniciar a implementação de: Coordenação central para ações relacionadas a I4.0; Indicadores de desempenho para I4.0; Planejamento e investimento para tecnologias 4.0; Marketing 4.0.
Modos de TT	Nível 1	Nível 2	Iniciar fortes parcerias com Universidades; Iniciar o compartilhamento de conhecimento com clientes, fornecedores, e entre os diferentes setores da empresa.
Integração de Sistemas	Nível 1	Nível 2	Iniciar a implementação de: gerenciamento do ciclo de vida do produto; atualização bidirecional de informações entre instalações e equipamentos reais com as cópias digitais; troca de informações em tempo real.

Fonte: Autor (2021)

Porém, muitas são as ações necessárias para que o nível de Maturidade de Indústria 4.0 se eleve na empresa. Para isso, a estratégia a ser utilizada será priorizar as dimensões que influenciam as demais.

As dimensões *Processo de TT* e *Modelos de Negócios* são as que possuem um menor nível de maturidade na Empresa B. Dessa maneira, foi observado na Figura 27 que quatro dimensões (Recursos Humanos, Disseminação do Conhecimento, Cultura Organizacional e Modelos de Negócios) influenciam *Processo de TT*; e a dimensão *Modelos de Negócios* influencia diversas outras dimensões (é considerada uma dimensão influenciadora).

O fato da dimensão *Modelos de Negócios* estar no Nível 0 e ser influenciadora, está interferindo negativamente em todas as outras dimensões. Por esse motivo a empresa encontra-se em um nível tão baixo de maturidade de I4.0

Dessa maneira, sugere-se que é preciso priorizar a dimensão *Modelos de Negócios* nos planos de ação, e logo em seguida *Recursos Humanos*, *Disseminação do Conhecimento* e *Cultura Organizacional*. Por consequência, *Processo de TT* e outras dimensões beneficiarão-se das melhorias obtidas nessas quatro dimensões mencionadas.

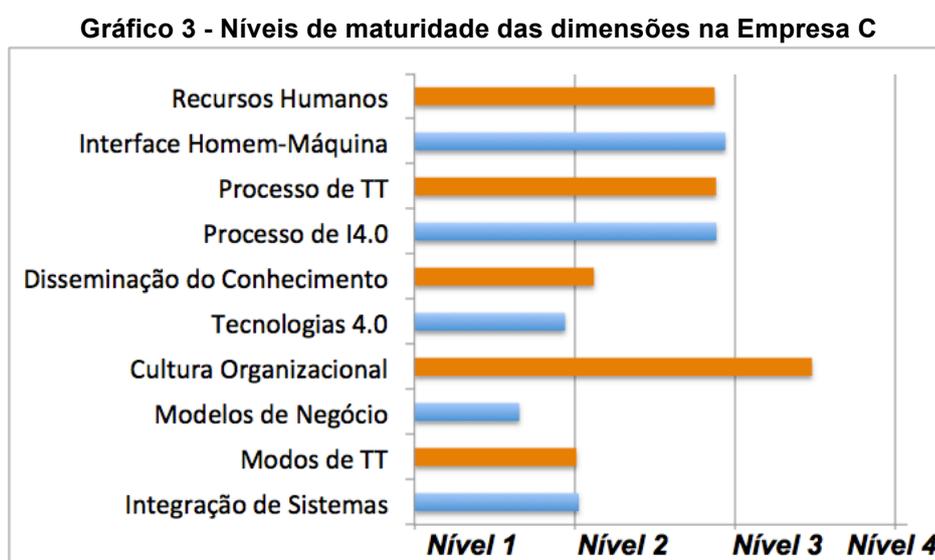
Posteriormente, deve-se analisar a viabilidade e o investimento necessário para cada uma das ações apresentadas, para assim elencar quais ações devem ser executadas.

Para que a Empresa B avance para o Nível II, é preciso investir fortemente em Transferência de Tecnologia. Assim, para assim começar a investir na aplicação dos conceitos e tecnologias 4.0.

### 8.3.3 Empresa C

De acordo com o modelo apresentado (Figura 33), a Empresa C situa-se no Nível V (Aceitável) de Indústria 4.0. Isso significa que há existência tanto dos componentes de TT, como os dos BB4.0, mas ainda há muito para aprimorar.

O Gráfico 3 apresenta os níveis em que cada dimensão de TT e BB 4.0 se enquadra, a partir dos resultados obtidos.



Fonte: Autoria Própria (2021)

Percebe-se que apenas uma dessas dimensões está no Nível 3: *Cultura Organizacional*. As dimensão que apresentaram um nível mais baixo, foram *Tecnologias 4.0* e *Modelos de Negócios*, ambas dimensões de BB 4.0. As demais dimensões, encontram-se todas no Nível 2.

A fim de encontrar medidas para elevar o nível de maturidade de Indústria 4.0 da empresa, o Quadro 19 apresenta o nível atual de cada dimensão, e ações necessárias para que a mesma possa atingir o próximo nível.

**Quadro 19 - Ações sugeridas para cada dimensão da Empresa C**

DIMENSÃO	NÍVEL ATUAL	PRÓXIMO NÍVEL	AÇÕES
Recursos Humanos	Nível 2	Nível 3	Realizar capacitação das habilidades técnicas e gerenciais relacionadas a I4.0 em mais da metade dos setores; Implementar uma interdisciplinaridade em todos os grupos de trabalho.
Interface Homem-Máquina	Nível 2	Nível 3	Todos os colaboradores precisam possuir: autonomia e liberdade para criação; dominar as tecnologias que utilizam; estarem abertos à novas tecnologias.
Processo de TT	Nível 2	Nível 3	Realizar parcerias com escritórios de TT, agências de desenvolvimento, entre outros facilitadores de TT; Transferir tecnologias com mais frequência para outras empresas.
Processo de I4.0	Nível 2	Nível 3	Implementar em mais da metade dos setores: manutenção inteligente; modelagens e simulação de desempenho; flexibilidade em produzir produtos altamente personalizados; sistema integrado de sensores; linhas de produção adaptáveis.
Disseminação do Conhecimento	Nível 2	Nível 3	Realizar investimento em pesquisas, com o objetivo de possuir patentes e publicações científicas.
Tecnologias 4.0	Nível 1	Nível 2	Iniciar a implementação de: Sistemas embarcados e inteligentes; Realidade aumentada; Manufatura Aditiva; Robôs autônomos; Inteligência artificial.
Cultura Organizacional	Nível 3	Nível 4	Realizar parcerias com programas de mestrado e doutorado; Participar de eventos de networking; Iniciar programas de incentivo à inovação.
Modelos de Negócios	Nível 1	Nível 2	Implementar indicadores de desempenho para ações relacionadas à I4.0; Implementar Marketing 4.0.
Modos de TT	Nível 2	Nível 3	Iniciar parcerias com Universidades; Transferir conhecimento tecnológico desde a fase de P&D até a comercialização do produto na empresa, e entre os projetos da empresa.
Integração de Sistemas	Nível 2	Nível 3	Aumentar o nível de conectividade da empresa. Implementar sistemas de gerenciamento do ciclo de vida do produto, e troca de informações em tempo real com a cadeia de suprimentos.

Fonte: Autor (2021)

Porém, muitas são as ações necessárias para que o nível de Maturidade de Indústria 4.0 se eleve na empresa. Para isso, a estratégia a ser utilizada será priorizar as dimensões que influenciam as demais.

As dimensões *Tecnologias 4.0* e *Modelos de Negócios* são as mais precárias na Empresa C. Assim, foi observado na Figura 27 que quatro dimensões (Recursos Humanos, Disseminação do Conhecimento, Cultura Organizacional e Modelos de Negócios) influenciam *Tecnologias 4.0*; e a dimensão *Modelos de Negócios* influencia diversas outras dimensões (é considerada uma dimensão influenciadora).

Dessa maneira, sugere-se que é preciso priorizar essas quatro dimensões nos planos de ação, iniciando-se por *Modelos de Negócios*. Por consequência,

*Tecnologias 4.0* e outras dimensões beneficiarão-se das melhorias obtidas nessas quatro dimensões mencionadas.

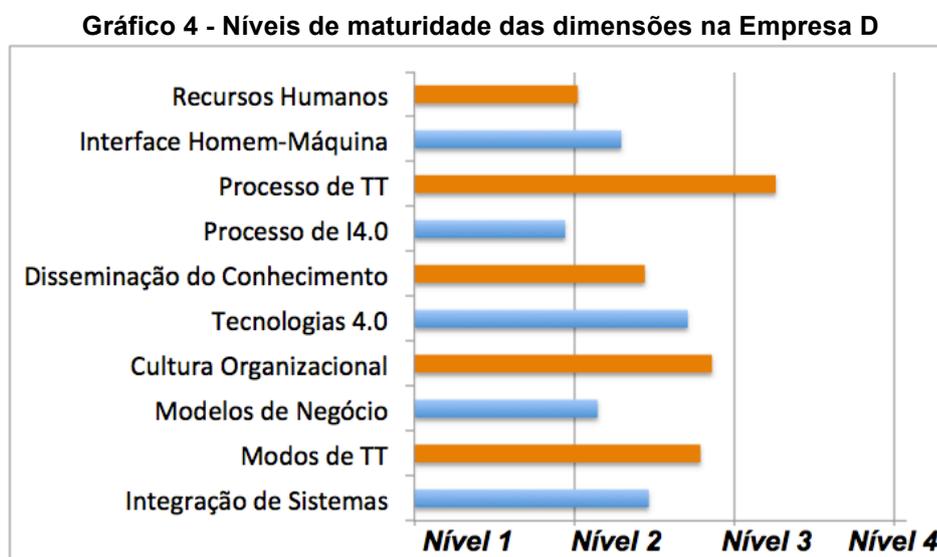
Posteriormente, deve-se analisar a viabilidade e o investimento necessário para cada uma das ações apresentadas, para assim elencar quais ações devem ser executadas.

Para que a Empresa C avance para o Nível VI, é preciso investir fortemente em Transferência de Tecnologia. Assim, será possível obter um melhor desempenho e aplicação de mais conceitos e tecnologias 4.0.

### 8.3.4 Empresa D

De acordo com o modelo apresentado (Figura 33), a Empresa D situa-se no Nível V (Aceitável) de Indústria 4.0. Isso significa que há existência tanto dos componentes de TT, como os dos BB4.0, mas ainda há muito para aprimorar.

O Gráfico 4 apresenta os níveis em que cada dimensão de TT e BB 4.0 se enquadra, a partir dos resultados obtidos.



Fonte: Autoria Própria (2021)

Percebe-se que apenas uma dessas dimensões está no Nível 3: *Processo de TT*. A dimensão que apresentou um nível mais baixo foi *Processo de I4.0*. As demais dimensões, encontram-se todas no Nível 2.

A fim de encontrar medidas para elevar o nível de maturidade de Indústria 4.0 da empresa, o Quadro 20 apresenta o nível atual de cada dimensão, e ações necessárias para que a mesma possa atingir o próximo nível.

**Quadro 20 - Ações sugeridas para cada dimensão da Empresa D**

DIMENSÃO	NÍVEL ATUAL	PRÓXIMO NÍVEL	AÇÕES
Recursos Humanos	Nível 2	Nível 3	Implementação de treinamentos mais abrangentes na empresa para todos os funcionários; Iniciar uma capacitação de das habilidades e competências de I4.0.
Interface Homem-Máquina	Nível 2	Nível 3	Implementar programas de incentivo à novas ideias e criações, assim como autonomia.
Processo de TT	Nível 3	Nível 4	Realizar parcerias com escritórios de TT, agências de desenvolvimento, entre outros facilitadores de TT.
Processo de I4.0	Nível 1	Nível 2	Aumentar a automatização dos processos; Iniciar a implementação de: manutenção inteligente, e recursos digitais de modelagem e simulação.
Disseminação do Conhecimento	Nível 2	Nível 3	Realizar investimento em pesquisas, com o objetivo de possuir patentes e publicações científicas; Implementar a digitalização e compartilhamento de processos de negócios internamente na empresa.
Tecnologias 4.0	Nível 2	Nível 3	Iniciar a implementação de realidade aumentada, e dar continuidade à implementação e expansão das outras tecnologias já existentes na empresa.
Cultura Organizacional	Nível 2	Nível 3	Iniciar parcerias com programas de mestrados e doutorados.
Modelos de Negócios	Nível 2	Nível 3	Implementar indicadores de desempenho para ações relacionadas à I4.0
Modos de TT	Nível 2	Nível 3	Iniciar modelos de compartilhamento de informações relevantes com outras empresas da cadeia de suprimentos, para uma ágil tomada de decisões
Integração de Sistemas	Nível 2	Nível 3	Implementar sistemas de gerenciamento do ciclo de vida do produto.

Fonte: Autor (2021)

Porém, muitas são as ações necessárias para que o nível de Maturidade de Indústria 4.0 se eleve na empresa. Para isso, a estratégia a ser utilizada será priorizar as dimensões que influenciam as demais.

A dimensão *Processos de I4.0* é a que apresenta menor nível de maturidade na Empresa D. Assim, foi observado na Figura 27 que quatro dimensões (Recursos Humanos, Disseminação do Conhecimento, Cultura Organizacional e Modelos de Negócios) influenciam *Processos de I4.0*.

Dessa maneira, sugere-se que é preciso priorizar essas quatro dimensões nos planos de ação. Por consequência, *Processos de 4.0* e outras dimensões beneficiarão-se das melhorias obtidas nessas quatro dimensões mencionadas.

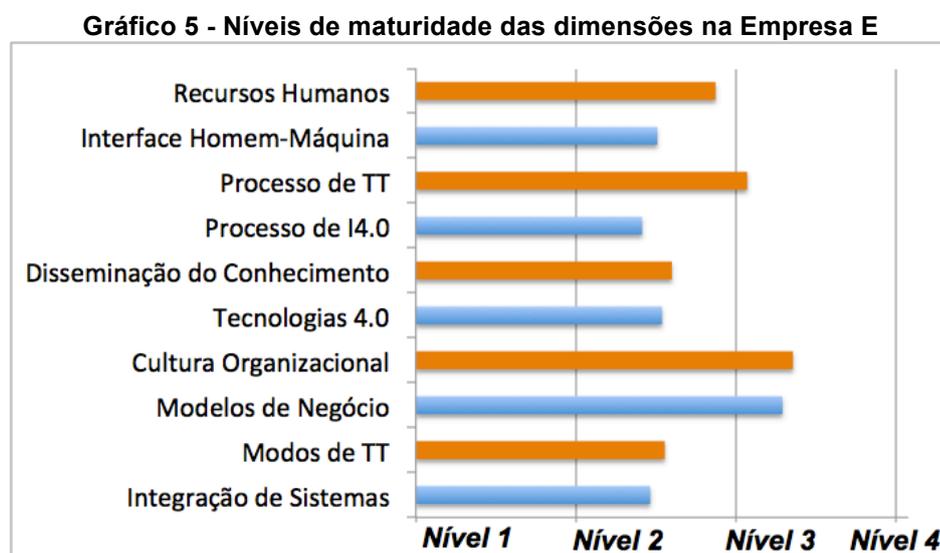
Posteriormente, deve-se analisar a viabilidade e o investimento necessário para cada uma das ações apresentadas, para assim elencar quais ações devem ser executadas.

Para que a Empresa D avance para o Nível VI, é preciso investir fortemente em Transferência de Tecnologia. Assim, será possível obter um melhor desempenho e aplicação de mais conceitos e tecnologias 4.0.

### 8.3.5 Empresa E

De acordo com o modelo apresentado (Figura 33), a Empresa E situa-se no Nível V (Aceitável) de Indústria 4.0. Isso significa que há existência tanto dos componentes de TT, como os dos BB4.0, mas ainda há muito para aprimorar.

O Gráfico 5 apresenta os níveis em que cada dimensão de TT e BB 4.0 se enquadra, a partir dos resultados obtidos.



Fonte: Autoria Própria (2021)

Essa foi a empresa que apresentou um melhor desempenho perante as demais. Percebe-se que todas as dimensões estão entre os níveis 2 e 3, sendo que *Processo de TT*, *Cultura Organizacional* e *Modelos de Negócio* são as que possuem um nível de maturidade mais elevado.

Observa-se que *Cultura Organizacional* e *Modelos de Negócio* são dimensões influenciadoras. Um dos motivos de a empresa estar avançando na maturidade de I4.0, é o fato de essas dimensões estarem com nível de maturidade elevado.

A fim de encontrar medidas para elevar o nível de maturidade de Indústria 4.0 da empresa, o Quadro 21 apresenta o nível atual de cada dimensão, e ações necessárias para que a mesma possa atingir o próximo nível.

**Quadro 21 - Ações sugeridas para cada dimensão da Empresa E**

DIMENSÃO	NÍVEL ATUAL	PRÓXIMO NÍVEL	AÇÕES
Recursos Humanos	Nível 2	Nível 3	Realizar capacitação das habilidades técnicas e gerenciais relacionadas a I4.0 em mais da metade dos setores.
Interface Homem-Máquina	Nível 2	Nível 3	Implementar programas de incentivo à novas ideias e criações para todos os funcionários, assim como autonomia.
Processo de TT	Nível 3	Nível 4	Transferir tecnologias para outras empresas com mais frequência.
Processo de I4.0	Nível 2	Nível 3	Aumentar a automatização dos processos; Implementar em mais setores da empresa: sistema integrado de sensores, realizar trocas de informações integradas em tempo real, linhas de produção adaptáveis, manutenção inteligente, recursos digitais de modelagem e simulação.
Disseminação do Conhecimento	Nível 2	Nível 3	Realizar investimento em pesquisas, com o objetivo de possuir patentes e publicações científicas.
Tecnologias 4.0	Nível 2	Nível 3	Implementar em alguns setores da empresa: produção de produtos com sistemas embarcados e inteligentes, realidade aumentada, manufatura aditiva, e inteligência artificial.
Cultura Organizacional	Nível 3	Nível 4	Participar de mais eventos de networking; Realizar parcerias mais fortes com programas de mestrados e doutorados; Investir no desenvolvimento de novas ideias e inovações.
Modelos de Negócios	Nível 3	Nível 4	Investir em marketing 4.0; Realizar comunicação ágil e digitalizada com os clientes para vendas, serviços e aquisição de informações.
Modos de TT	Nível 2	Nível 3	Iniciar modelos de compartilhamento de informações entre toda a empresa, entre a cadeia de suprimentos, com os clientes e fornecedores.
Integração de Sistemas	Nível 2	Nível 3	Realizar troca informações em tempo real com sua cadeia de suprimentos.

Fonte: Autor (2021)

Para a empresa continuar avançando em Indústria 4.0, sugere-se que as quatro dimensões influenciadoras sejam priorizadas no plano de ação: Recursos Humanos, Disseminação do Conhecimento, Cultura Organizacional e Modelos de Negócios.

Dessa maneira, outras dimensões beneficiarão-se das melhorias obtidas nessas quatro dimensões mencionadas.

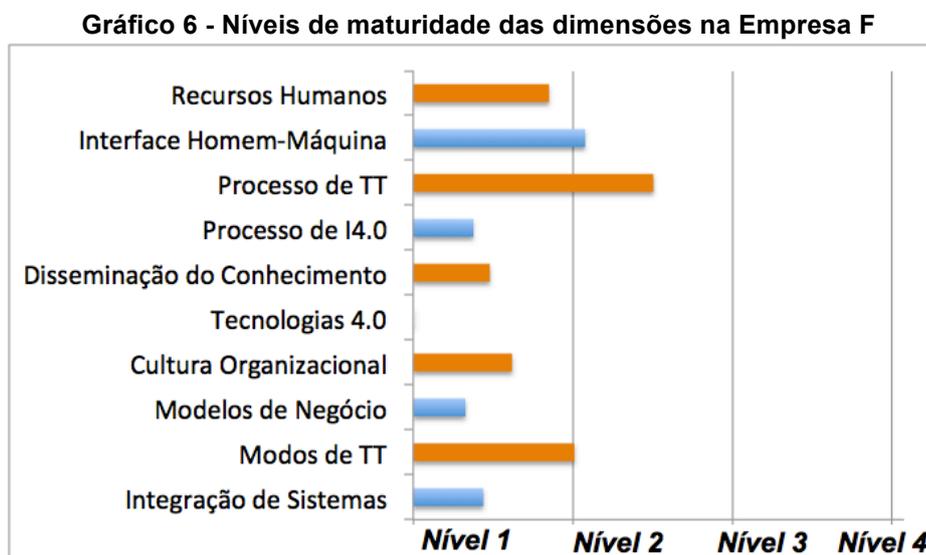
Posteriormente, deve-se analisar a viabilidade e o investimento necessário para cada uma das ações apresentadas, para assim elencar quais ações devem ser executadas.

Para que a Empresa E avance para o Nível VI, é preciso investir ainda mais em Transferência de Tecnologia. Assim, será possível obter um melhor desempenho e aplicação de mais conceitos e tecnologias 4.0.

### 8.3.6 Empresa F

De acordo com o modelo apresentado (Figura 33), a Empresa F situa-se no Nível I de Indústria 4.0. É considerado um nível crítico, onde tanto os conceitos e tecnologias 4.0, como a Transferência de Tecnologia, são praticamente inexistentes. Ainda há muito para avançar nessa empresa.

O Gráfico 6 apresenta os níveis em que cada dimensão de TT e BB 4.0 se enquadra, a partir dos resultados obtidos.



Fonte: Autoria Própria (2021)

Percebe-se que apenas três dessas dimensões encontram-se no Nível 2: *Interface Homem-Máquina*, *Processo de TT* e *Modos de TT*. As demais dimensões estão todas no Nível 1, e uma ainda estão no Nível 0 (*Tecnologias I4.0*).

A fim de encontrar medidas para elevar o nível de maturidade de Indústria 4.0 da empresa, o Quadro 22 apresenta o nível atual de cada dimensão, e ações necessárias para que a mesma possa atingir o próximo nível.

**Quadro 22 - Ações sugeridas para cada dimensão da Empresa F**

DIMENSÃO	NÍVEL ATUAL	PRÓXIMO NÍVEL	AÇÕES
Recursos Humanos	Nível 1	Nível 2	Implementação de treinamentos mais abrangentes na empresa para todos os funcionários; Iniciar uma capacitação de das habilidades e competências de I4.0; Implementar interdisciplinaridade nos grupos de trabalho.
Interface Homem-Máquina	Nível 2	Nível 3	Implementar programas de incentivo à novas ideias e criações, assim como autonomia.
Processo de TT	Nível 2	Nível 3	Realizar parcerias com escritórios de TT, agências de desenvolvimento, entre outros facilitadores de TT.
Processo de I4.0	Nível 1	Nível 2	Iniciar implementação de: automatização nos processos, sistema integrado de sensores, manutenção inteligente, recursos digitais de modelagem e simulação.
Disseminação do Conhecimento	Nível 1	Nível 2	Iniciar um investimento em pesquisas, com o objetivo de possuir patentes e publicações científicas; Iniciar a digitalização e compartilhamento de processos de negócios internamente e com demais parceiros.
Tecnologias 4.0	Nível 0	Nível 1	Iniciar implementação de: produtos com sistemas embarcados e inteligentes, rastreabilidade do produto final, Big Data, computação em nuvem, segurança da informação, realidade aumentada, manufatura aditiva, robôs autônomos.
Cultura Organizacional	Nível 1	Nível 2	Iniciar parcerias com programas de mestrados e doutorados; Compartilhar os resultados dos colaboradores em seminários.
Modelos de Negócios	Nível 1	Nível 2	Iniciar a implementação de: Coordenação central para ações relacionadas a I4.0; Indicadores de desempenho para I4.0; Planejamento e investimento para tecnologias 4.0; Marketing 4.0.
Modos de TT	Nível 1	Nível 2	Realizar fortes parcerias com universidades; Iniciar modelos de compartilhamento de informações entre toda a empresa, entre a cadeia de suprimentos, com os clientes e fornecedores.
Integração de Sistemas	Nível 1	Nível 2	Implementar sistemas de troca informações em tempo real com sua cadeia de suprimentos, e atualização bidirecional de informações entre as instalações e equipamentos reais com as cópias digitais.

Fonte: Autor (2021)

Porém, muitas são as ações necessárias para que o nível de Maturidade de Indústria 4.0 se eleve na empresa. Para isso, a estratégia a ser utilizada será priorizar as dimensões que influenciam as demais.

A dimensão *Tecnologias 4.0* é a que possui um menor nível de maturidade na Empresa F. Dessa maneira, foi observado na Figura 27 que cinco dimensões (Recursos Humanos, Disseminação do Conhecimento, Cultura Organizacional e Modelos de Negócios e Processo de I4.0) influenciam *Tecnologias 4.0*.

Dessa maneira, sugere-se que é preciso priorizar essas cinco dimensões nos planos de ação da empresa. Por consequência, *Tecnologias 4.0* e outras dimensões beneficiarão-se das melhorias obtidas nessas dimensões mencionadas.

Posteriormente, deve-se analisar a viabilidade e o investimento necessário para cada uma das ações apresentadas, para assim elencar quais ações devem ser executadas.

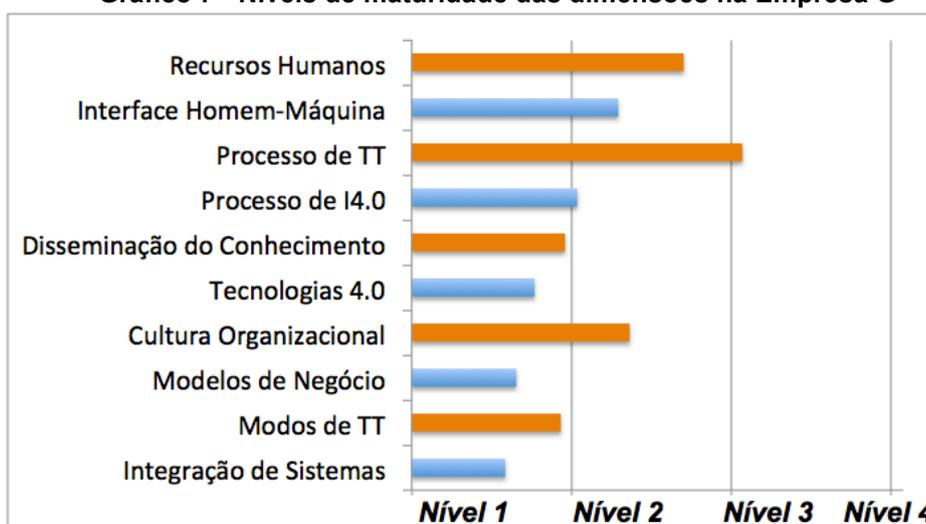
Para que a Empresa F avance para o Nível II, é preciso investir fortemente em Transferência de Tecnologia. Assim, para assim começar a investir na aplicação dos conceitos e tecnologias 4.0.

### 8.3.7 Empresa G

De acordo com o modelo apresentado (Figura 33), a Empresa G situa-se no Nível II de Indústria 4.0. É considerado um estado de alerta em relação à Indústria 4.0. Há a existência de alguns componentes relacionados à TT. Porém, não há existência considerável dos componentes relacionados aos Building Blocks 4.0.

O Gráfico 7 apresenta os níveis em que cada dimensão de TT e BB 4.0 se enquadra, a partir dos resultados obtidos.

Gráfico 7 - Níveis de maturidade das dimensões na Empresa G



Fonte: Autoria Própria (2021)

Percebe-se que apenas uma dessas dimensões encontra-se no Nível 3: *Processo de TT*. As dimensões que apresentaram um nível mais baixo, foram: *Tecnologias 4.0*, *Modelos de Negócio* e *Integração de Sistemas*, todas dimensão de BB4. As demais dimensões estão no Nível 2, ou estão muito perto de atingir esse nível.

Essa é a empresa que mais diferenciou-se das demais, foi a única que apresentou um Nível de Transferência de Tecnologia (Nível 2) diferente de *Building Blocks 4.0* (Nível 1). Isso significa que a empresa está em transição para o Nível V de Indústria 4.0. O objetivo agora deve ser elevar o nível de BB4.0 de Nível 1 para Nível 2.

A fim de encontrar medidas para elevar o nível de maturidade de Indústria 4.0 da empresa, o Quadro 23 apresenta o nível atual de cada dimensão, e ações necessárias para que a mesma possa atingir o próximo nível.

Quadro 23 - Ações sugeridas para cada dimensão da Empresa G

DIMENSÃO	NÍVEL ATUAL	PRÓXIMO NÍVEL	AÇÕES
Recursos Humanos	Nível 2	Nível 3	Realizar capacitação das habilidades técnicas e gerenciais relacionadas a I4.0 em mais da metade dos setores.
Interface Homem-Máquina	Nível 2	Nível 3	Implementar programas de incentivo à novas ideias e criações, assim como autonomia.
Processo de TT	Nível 3	Nível 4	Realizar parcerias com escritórios de TT, agências de desenvolvimento, entre outros facilitadores de TT.
Processo de I4.0	Nível 2	Nível 3	Realizar implementação de: sistema integrado de sensores, e manutenção inteligente.

Disseminação do Conhecimento	Nível 1	Nível 2	Iniciar um investimento em pesquisas, com o objetivo de possuir patentes e publicações científicas; Iniciar a digitalização e compartilhamento de processos de negócios internamente e com demais parceiros.
Tecnologias 4.0	Nível 1	Nível 2	Iniciar a implementação de: realidade aumentada, rastreabilidade do produto final, manufatura aditiva.
Cultura Organizacional	Nível 2	Nível 3	Investir em consultorias para a empresa; Realizar parcerias com programas de mestrados e doutorados.
Modelos de Negócios	Nível 1	Nível 2	Iniciar a implementação de: Coordenação central para ações relacionadas a I4.0; Indicadores de desempenho para I4.0; Planejamento e investimento para tecnologias 4.0; Marketing 4.0.
Modos de TT	Nível 1	Nível 2	Realizar fortes parcerias com universidades; Iniciar modelos de compartilhamento de informações entre toda a empresa, entre a cadeia de suprimentos, com os clientes e fornecedores.
Integração de Sistemas	Nível 1	Nível 2	Implementar sistemas de troca informações em tempo real com sua cadeia de suprimentos, e atualização bidirecional de informações entre as instalações e equipamentos reais com as cópias digitais.

Fonte: Autor (2021)

Porém, muitas são as ações necessárias para que o nível de Maturidade de Indústria 4.0 se eleve na empresa. Para isso, a estratégia a ser utilizada será priorizar as dimensões que influenciam as demais.

As dimensões *Tecnologias 4.0*, *Modelos de Negócio* e *Integração de Sistemas* são as que possuem um menor nível de maturidade na Empresa G. Dessa maneira, foi observado na Figura 27 que cinco dimensões (Recursos Humanos, Disseminação do Conhecimento, Cultura Organizacional, Modelos de Negócios e Processo de I4.0) influenciam *Tecnologias 4.0*, e sete dimensões influenciam *Integração de Sistemas* (Recursos Humanos, Disseminação do Conhecimento, Cultura Organizacional, Modelos de Negócios, Processo de TT, Tecnologias 4.0 e Processo de I4.0). A dimensão *Modelos de Negócio* é uma dimensão influenciadora.

Dessa maneira, sugere-se que é preciso priorizar a dimensão *Modelos de Negócio* nos planos de ação da empresa, pelo motivo de ser uma dimensão influenciadora de BB4.0 e possuir um baixo nível de maturidade na empresa. Posteriormente, deve-se focar nas dimensões: Recursos Humanos, Disseminação do Conhecimento, Cultura Organizacional, Processo de TT, Tecnologias 4.0 e Processo de I4.0. Por consequência, outras dimensões beneficiarão-se das melhorias obtidas nessas dimensões mencionadas.

Posteriormente, deve-se analisar a viabilidade e o investimento necessário para cada uma das ações apresentadas, para assim elencar quais ações devem ser executadas.

O próximo passo da empresa G é avançar para o Nível V. Para isso, deve-se continuar investindo em TT cada vez mais, tendo como foco a busca e implementação dos BB4.0.

#### 8.4 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

Esse capítulo teve como intuito apresentar os resultados obtidos na aplicação do modelo proposto. Foi possível analisar quais dimensões são influenciadoras e influenciadas, o nível de maturidade de Indústria 4.0 de cada empresa entrevistada, e o diagnóstico individual das empresas.

Das dez dimensões analisadas, quatro foram consideradas influenciadoras (Cultura Organizacional, Recursos Humanos, Disseminação do Conhecimento e Modelos de Negócios), e seis foram consideradas influenciadas por essas quatro citadas. Dessas quatro dimensões influenciadoras, três delas são referentes à Transferência de Tecnologia e apenas uma é referente à Building Blocks 4.0. Isso comprova o fato de que a TT é um fator estratégico para alavancar os conceitos e tecnologias 4.0 nas empresas.

O objetivo de saber quais são as dimensões influenciadoras e influenciadas, é para poder traçar estratégias para as empresas para elevar o nível de maturidade de I4.0. Além disso, esse modelo é baseado nas influências entre as dimensões.

O nível de maturidade de Indústria 4.0 das empresas estudadas, foi considerado satisfatório, de maneira geral. Das sete empresas, duas estão no nível I, uma está no nível II, e quatro estão no nível V.

O posicionamento das empresas no modelo permitiu comprovar o framework teórico desenvolvido nesse estudo, onde fala que existe uma influência mútua entre TT e I4.0. Ainda, que a Transferência de Tecnologia atua como um fator estratégico para a evolutiva implementação dos conceitos e tecnologias 4.0. nas organizações.

Para finalizar esse capítulo, foram feitas sugestões de ações para cada uma das empresas estudadas, tendo como base o desempenho de cada uma das dimensões apresentadas.

Foi possível verificar que as empresas com um maior nível de maturidade de Indústria 4.0, tinham um nível de maturidade aceitável das dimensões influenciadoras. Enquanto as empresas com menor nível de maturidade de I4.0, apresentaram uma carência na maturidade das dimensões influenciadoras.

Sendo assim, o presente trabalho permitirá que as indústrias participantes compreendam melhor o cenário que estão buscando atingir, e assim poderem avançar neste contexto.

## 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo geral desenvolver um modelo de maturidade de Indústria 4.0, onde a Transferência de Tecnologia influencia seu nível de maturidade, a fim de facilitar sua implementação. Para que este objetivo pudesse ser atingido, foi necessário alcançar e responder aos objetivos específicos traçados na introdução deste trabalho.

Para responder o primeiro objetivo específico, que seria a elaboração de um *Framework* Conceitual que apresentasse a influência entre TT e I4.0, foi necessária a realização de uma vasta revisão de literatura. Nessa revisão, foram apresentados: os conceitos, componentes, impactos e barreiras pertinentes à Indústria 4.0; os mecanismos, conceitos, impactos e barreiras pertinentes à Transferência de Tecnologia; os modelos de maturidade encontrados na literatura, tanto de Indústria 4.0, como de Transferência de Tecnologia; e por fim, a união entre TT e I4.0. A partir dessa revisão, foi elaborado o *Framework* conceitual, o qual abordou que a TT torna-se um aliado aos Conceitos e Tecnologias 4.0 para a implementação da Indústria 4.0 nas organizações.

A fim de comprovar esse *framework* conceitual, foi elaborado o Modelo de Maturidade I4.0-TT. Para isso, foi necessário primeiramente determinar os componentes e dimensões da TT e I4.0, sendo esse o segundo objetivo específico da pesquisa. Tanto os componentes, como as dimensões de TT e I4.0, foram determinados a partir da revisão de literatura. Esses componentes foram classificados em dez sub-dimensões (Recursos Humanos, Interface Homem-Máquina, Processo de TT, Processo de I4.0, Disseminação do Conhecimento, Tecnologias 4.0, Cultura Organizacional, Modelos de Negócios, Modos de TT e Integração de Sistemas) que se enquadram nas cinco dimensões apresentadas no *Framework* Conceitual (Pessoas, Processo, Tecnologia, Estratégia e Organização, e Integração).

O terceiro objetivo específico está relacionado à aplicação do modelo. Para isso, foi desenvolvido um modelo multicritério baseado no método DEMATEL, onde as dimensões apresentam influências umas sob as outras, e assim é possível determinar a influência entre TT e I4.0 e descobrir o nível de maturidade da empresa. Esse modelo foi aplicado em sete empresas localizadas no Paraná. Todas elas têm pretensão em implementar conceitos e tecnologias de Indústria 4.0. Essas

empresas foram escolhidas pelo motivo de terem parcerias com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Após a aplicação do modelo, foi possível atingir o quarto objetivo específico: analisar quais são as dimensões de I4.0 e TT que mais influenciam as outras e sofrem influências. Das dez dimensões analisadas, quatro foram consideradas influenciadoras (Cultura Organizacional, Recursos Humanos, Disseminação do Conhecimento e Modelos de Negócios), e seis foram consideradas influenciadas por essas quatro citadas. Dessas quatro dimensões influenciadoras, três delas são referentes à Transferência de Tecnologia e apenas uma é referente à *Building Blocks* 4.0. Isso comprova o fato de que a TT é um fator estratégico para alavancar os conceitos e tecnologias 4.0 nas empresas. Sabendo quais são as dimensões influenciadoras e influenciadas, foi possível traçar estratégias para as empresas para elevar o seu nível de maturidade de I4.0.

Posteriormente, foi possível identificar no modelo proposto em qual nível de maturidade de Indústria 4.0 as empresas entrevistadas estão localizadas. Das sete empresas, duas estão no nível I, uma está no nível II, e quatro estão no nível V.

O posicionamento das empresas no modelo permitiu comprovar o *Framework* conceitual desenvolvido nesse estudo, onde explana que existe uma influência mútua entre TT e I4.0. Ainda, que a Transferência de Tecnologia atua como um fator estratégico para a evolutiva implementação dos conceitos e tecnologias 4.0 nas organizações.

Por fim, foi desenvolvido um diagnóstico de maturidade TT-I4.0 para as empresas entrevistadas, sendo esse o último objetivo específico da pesquisa. Foram feitas sugestões de ações para cada uma das empresas estudadas, tendo como base o desempenho de cada uma das dimensões apresentadas. Ainda, foi traçada uma estratégia para priorização das ações, baseando-se nas dimensões influenciadoras.

Nesse sentido, as respostas dos objetivos específicos traçados para este trabalho remetem ao alcance do objetivo geral. A construção do Modelo de Maturidade I4.0-TT possibilitou confirmar que a Transferência de Tecnologia influencia a Indústria 4.0, e vice-versa. A TT pode ser vista como uma estratégia para que a implementação dos conceitos e tecnologias 4.0 ocorra com maior facilidade. Ainda, é uma ferramenta que pode ser utilizada nas organizações para poder analisar em qual estágio a empresa encontra-se, e o que é necessário para

evoluir de nível.

A Indústria 4.0 é um tema bastante complexo e as empresas ainda possuem dificuldades em seu processo de implementação. Esse estudo permitiu confirmar que a Transferência de Tecnologia vem como um suporte para auxiliar e facilitar todo o processo de implementação dessa nova revolução industrial. O processo de evolução da I4.0 e da TT deve ser contínuo e simultâneo, pois ambas possuem uma mútua relação de influência. Dessa maneira, esse trabalho preencheu uma lacuna existente na literatura, e traz possibilidades para novos estudos futuros.

### 9.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Devido a pandemia do COVID-19, esta pesquisa limitou-se pela falta de visitas nas empresas para complementar as avaliações. Para pesquisas futuras, sugere-se realizar um visita *in loco* nas empresas estudadas.

Ainda, foram identificadas oportunidades para o desenvolvimento de trabalhos futuros relacionados ao tema. São elas:

- Aplicar o modelo contruído em outras empresas, realizando comparações de acordo com o tamanho da empresa e ramo de atividade;
- Aplicar o modelo construído em países diferentes, a fim realizar um comparativo;
- Incorporar o modelo construído em um *roadmap* de Indústria 4.0;
- Aplicar o modelo com o intuito de identificar as barreiras existentes de TT e I4.0, que dificultam a implementação dessa nova revolução industrial.

## REFERÊNCIAS

- ABELE, E.; METTERNICH, J.; TISCH, M.; CHRYSSOLOURIS, G.; SIHN, W.; ELMARAGHY, W.; RANZ, F. Learning factories for research, education, and training. **Procedia CiRp**, v.32, p.1-6, 2015.
- ADENLE, A. A.; AZADI, H.; ARBIOL, J. Global assessment of technological innovation for climate change adaptation and mitigation in developing world. **Journal of Environmental Management**, v. 161, p. 261–275, 2015.
- AGBOOLA, J. I. Technological Innovation and Developmental Strategies for Sustainable Management of Aquatic Resources in Developing Countries. **Environmental Management**, v. 54, n. 6, p. 1237-1248, 2014.
- AGGARWAL, P.; AGGARWAL, R. Examining perspectives and dimensions of clean development mechanism: A critical assessment vis-à-vis developing and least developed countries. **International Journal of Law and Management**, v. 59, n. 1, p. 82-101, 2017.
- AGRAWAL, A. K. University-to-industry knowledge transfer: Literature review and unanswered questions. **International Journal of management reviews**, v. 3, n. 4, p. 285-302, 2001.
- AHN, J.H.; CHANG, S.G. Assessing the contribution of knowledge to business performance: the KP3 methodology. **Decision Support Systems**, v. 36, n. 4, p. 403-416, 2004.
- AIREHROUR, D.; GUTIERREZ, J.; RAY, S. K. Secure Routing for Internet of Things: A Survey. **Journal of Network Computers and Applications**, v.66, p.198–213, 2016.
- AKDIL, K. Y.; USTUNDAG, A.; CEVIKCAN, E. Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy. **In Industry 4.0: Managing the Digital Transformation**, p. 61-94, 2018.
- AL-SAEED, Y.; EDWARDS, D. J.; SCAYSBROOK, S. Automating construction manufacturing procedures using BIM digital objects (BDOs): Case study of knowledge transfer partnership project in UK. **Construction Innovation**. 2020.
- AMESSE, F.; COHENDET, P. Technology transfer revisited from the perspective of the knowledge- based economy. **Research Policy**, v.30, p.459–1478, 2001.
- ANSARI, F.; HOLD, P.; KHOBREH, M. A knowledge-based approach for representing jobholder profile toward optimal human–machine collaboration in cyber physical production systems. **CIRP Journal of Manufacturing Science and**

**Technology**, v. 28, p. 87–106, 2020.

ANTKOWIAK, D.; LUETTICKE, D.; LANGER, T.; THIELE, T.; MEISEN, T.; JESCHKE, S. Cyber-Physical Production Systems: A Teaching Concept in Engineering Education. **Proceedings - 2017 6th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics, IIAI-AAI**, p. 681–686, 2017.

ARGOTE, L. Organizational learning: Creating, retaining and transferring knowledge. **Boston: Kluwer**, (pp. 1–212), 1999.

ARGOTE, L.; INGRAM, P. Knowledge transfer: a basis for competitive advantage in firms. **Organizational Behavior and Human Decision Processes**, v. 82, n. 1, p. 150-169, 2000.

ARIF, M.; AL ZUBI, M.; GUPTA, A. D.; EGBU, C.; WALTON, R. O.; ISLAM, R. Knowledge sharing maturity model for Jordanian construction sector. **Engineering, Construction and Architectural Management**, 2017

ARNOLD, C.; KIEL, D.; VOIGT, K.I. How the Industrial Internet of Things changes business models in different manufacturing industries. **International Journal of Innovation Management**, v.20, n.08, p.1640015-1–1640015-25, 2016.

ARTIFICE, A. *et al.* Computational Model for Knowledge Transfer Skills in Industry 4.0 in an Enhanced and Effective Way. In: **ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition**. American Society of Mechanical Engineers, 2019.

ARVANITIS, S.; KUBLI, U.; WOERTER, M. University-industry knowledge and technology transfer in Switzerland: what university scientists think about co-operation with private enterprises. **Research Policy**, v.37, n. 10, p. 1865-1883, 2008.

ARVANITIS, S.; SYDOW, N.; WOERTER, M. Is there any impact of university-industry knowledge transfer on innovation and productivity? An empirical analyses based on Swiss firm data. **Review of Industrial Organization**, v. 32, n. 2, p. 77-94, 2008.

ARZA, V. Channels, benefits and risks of public-private interactions for knowledge transfer: conceptual framework inspired by Latin America. **Science and Public Policy**, v. 37, n. 7, p. 473-484, 2010.

ATZORI, L.; ANTONIO, I.; GIACOMO, M. The Internet of Things: A survey. **Computer Networks**, v. 54, n.15, p. 2787–2805, 2010.

AUTIO, E.; LAAMANEN, T. Measurement and evaluation of technology transfer: Review of technology transfer mechanisms and indicators. **Technology Management**, v.10, n.7/8, p.643–664, 1995.

AZAM, M. M. Climate Change Resilience and Technology Transfer: The Role of Intellectual Property. **Nordic Journal of International Law**, v. 80, n. 4, p. 485–505, 2011.

BABICEANU, R. F.; SEKER, R. Big Data and Virtualization for Manufacturing Cyber-Physical Systems: A Survey of the Current Status and Future Outlook. **Computers in Industry**, v.81, p.128–137, 2016.

BABICEANU, R. F.; SEKER, R. Big data and virtualization for manufacturing cyber-physical systems: a survey of the current status and future outlook. **Computers in Industry**, v.81, p.128–137, 2016.

BAHRIN, M.A.K.; OTHMAN, M.F.; AZLI, N.H.N.; TALIB, M.F. Industry 4.0: a review on industrial automation and robotic. **Jurnal Teknologi**, v.78, p.6–13, 2016.

BARAKI, Y. A.; BRENT, A. C. Technology transfer of hand pumps in rural communities of Swaziland: Towards sustainable project life cycle management. **Technology in Society**, v. 35, n. 4, p. 258–266, 2013.

BARBOSA, G. F.; SHIKI, S. B.; DA SILVA, I. B. R&D roadmap for process robotization driven to the digital transformation of the industry 4.0. **Concurrent Engineering Research and Applications**, v. 28, n.4, p. 290–304, 2020.

BARLETTA, F.; YOGUEL, G.; PEREIRA, M.; RODRIGUEZ, S. Exploring scientific productivity and transfer activities: evidence from Argentinean ICT research groups. **Research Policy**, v.46, n. 8, p. 1361-1369, 2017.

BASU, A. Grasping climate technology transfer: A brief discussion on Indian practice. **Journal of Intellectual Property Rights**. v. 23, p. 51-59, 2018.

BATTISTELLA, C.; DE TONI, A. F.; PILLON, R. Inter-organisational technology/knowledge transfer: a framework from critical literature review. **The Journal of Technology Transfer**, v. 41, n. 5, p. 1195-1234, 2016.

BAUR, C.; WEE, D. Manufacturing's Next Act? **McKinsey & Company**, 2015.

BEDOLLA, J. S.; D'ANTONIO, G.; CHIABERT, P. A Novel Approach for Teaching IT Tools within Learning Factories. **Procedia Manufacturing**, v.9, p.175–181, 2017.

BEER, C.; SECUNDO, G.; PASSIANTE, G.; SCHUTTE, C. S. A mechanism for sharing best practices between university technology transfer offices. **Knowledge Management Research & Practice**, v.15, n.4, p.523-532, 2017.

BEKKERS, R.; BODAS, I. Analyzing knowledge transfer channels between universities and industry: to what degree do sectors also matter?. **Research Policy**, v. 37, n. 10, p. 1837-1853, 2008.

BELMONTE, S.; ESCALANTE, K. N.; FRANCO, J. Shaping changes through participatory processes: Local development and renewable energy in rural habitats. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 45, p. 278–289, 2015.

BEN-ARI, M.; MONDADA, F. **Elements of robotics**. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2018.

BENEDICT, N.; SMITHBURGER, P.; DONIHI, A. C.; EMPEY, P.; KOBULINSKY, L.; SEYBERT, A.; WATERS, T.; DRAB, S.; LUTZ, J.; FARKAS, D.; MEYER, S. Blended Simulation Progress Testing for Assessment of Practice Readiness. **American journal of pharmaceutical education**, v.81, n.1, p.14, 2017.

BENEŠOVÁ, A.; TUPA, J. Requirements for education and qualification of people in industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v.11, p. 2195–2202, 2017.

BERDAL, Q.; PACAUX-LEMOINE, M. P.; TRENTESAUX, D.; CHAUVIN, C. Human-machine cooperation in self-organized production systems: A point of view. **International Workshop on Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing**, p. 123-132, 2018.

BLIZNETS, I.; KARTSKHIYA, A.; SMIRNOV, M. Technology transfer in digital era: Legal environment. **Journal of History Culture and Art Research**, v. 7, n. 1, p. 354-363, 2018.

BLOHMKE, J. Technology complexity, technology transfer mechanisms and sustainable development. **Energy for Sustainable Development**, v. 23, p. 237–246, 2014.

BLÜMEL, E. Global Challenges and Innovative Technologies Geared Toward New Markets: Prospects for Virtual and Augmented Reality. **VARE**, p. 4-13, 2013.

BOGLE, I. D. L. A Perspective on Smart Process Manufacturing Research Challenges for Process Systems Engineers. **Engineering**, v.3, n.2, p.161–165, 2017.

BOZEMAN, B. Technology transfer and public policy: a review of research and theory. **Research Policy**, v. 29, n. 4/5, p. 627-655, 2000.

BOZEMAN, B.; RIMES, H.; YOUTIE, J. The evolving state-of-the-art in technology transfer research: Revisiting the contingent effectiveness model. **Research Policy**, v.44, n.1, p.34–49, 2015.

BRANGER, J.; PANG, Z. Automated Home to Sustainable, Healthy and Manufacturing Home: A New Story Enabled by the Internet-of-Things and Industry 4.0. **Journal of Management Analytics**, v.2, n.4, p.314–332, 2015.

BRÖRING, A.; SCHMID, S.; SCHINDHELM, C. K.; KHELIL, A.; KÄBISCH, S.;

KRAMER, D.; TENIENTE, E. Enabling IoT ecosystems through platform interoperability. **IEEE Softwer**, v.34, n.1, p.54–61, 2017.

BRUCKMAN, V.; HARUTHAITHANASAN, M.; MILLER, R.; TERADA, T.; BRENNER, A.-K.; KRAXNER, F.; FLASPOHLER, D. Sustainable forest bioenergy development strategies in Indochina: Collaborative effort to establish regional policies. **Forests**, v. 9, n. 4, p. 223, 2018.

BYRNE, G.; AHEARNE E.; COTTERELL, M.; MULLANY, B.; O'DONNELL, G. E.; SAMMLER, F. High Performance Cutting (HPC) in the New Era of Digital Manufacturing: A Roadmap. **Procedia CIRP**, v.46, p.1–6, 2016.

CAMP, S. M.; SEXTON, D. L. Technology Transfer and Value creation: Extending the theory beyond information exchange. **The Journal of Technology Transfer**, v. 17, n. 2-3, p. 68-76, 1992.

CARAYANNIS, E.G; CAMPBELL, D.F.J. Mode 3” and “quadruple helix”: toward a 21st century fractal innovation ecosystem. **International Journal of Technology Management**, v.46, p.201–234, 2009.

CARVALHO, I. V.; CUNHA, N. C. V. Proposta de um modelo de transferência de tecnologia para as universidades públicas brasileiras. **Congresso Latino-Iberoamericana de Gestão de Tecnologia**, v.15, p.1–18, 2013.

CARVALHO, N.; CHAIM, O.; CAZARINI, E.; GEROLAMO, M. Manufacturing in the fourth industrial revolution: a positive prospect in sustainable manufacturing. **Procedia Manufacturing**, v.21, p.671–678, 2018.

CEDEÑO, J. M. V.; PAPINNIEMI, J.; HANNOLA, L.; DONOGHUE, I. Developing smart services by internet of things in manufacturing business. **LogForum**, v.14, n.1, p.59–71, 2018.

CHANG, B.; CHANG, C.; WU, C. Fuzzy DEMATEL method for developing supplier selection criteria. **Expert Systems with Applications.**, v.38, n.3, p.1850-1858, 2011.

CHEGE, M. S.; WANG, D.; SUNTU, S. L.; BISHOGE, O. K. Influence of technology transfer on performance and sustainability of standard gauge railway in developing countries. **Technology in Society**, v. 26, p. 79-92, 2019.

CHEN, T.; LIN, Y.C. Feasibility evaluation and optimization of a smart manufacturing system based on 3D printing: a review. **International Journal of Intelligent Systems**, v.32, n.4, p. 394-413, 2017.

CHENG, G.; LIU, L.; QIANG, X.; LIU, Y. Industry 4.0 Development and Application of Intelligent Manufacturing. **Proceedings of 2016 International Conference on Information Systems and Artificial Intelligence**, p.407–410, 2016.

CHOI, S.; KIM, B. H.; DO NOH, S. A diagnosis and evaluation method for strategic planning and systematic design of a virtual factory in smart manufacturing systems. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing**, v.16, n.6, p. 1107–1115, 2015.

CHONG, Li; RAMAKRISHNA, Seeram; SINGH, Sunpreet. A review of digital manufacturing-based hybrid additive manufacturing processes. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 95, n. 5-8, p. 2281-2300, 2018.

CHRISTIAN, E.; GLAESNER, K.; ALAIN, P.; JOSIP, S. Advances in 3D Measurement Data Management for Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v.11, p.1335–1342, 2017.

CHRISTIANS, A.; LIEPIN, M. The consequences of digitalization for German civil law from the national legislator's point of view. **Zeitschrift Geistiges Eigentum/Intellectual Property Journal**, v.9, n.3, p.331–339, 2017.

CIANFANELLI, E.; GORETTI, G.; TUFARELLI, M. Reverse engineering and digital archives as a Resource for Practical Craft-Based Manufacturing Process. **International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics**, p. 280-289, 2018.

CORMICAN, K.; O'CONNOR, M. Technology transfer for product life cycle extension: A model for successful implementation. **International Journal of Innovation and Technology Management**, v. 6, n. 03, p. 265-282, 2009.

CORRADINI, G.; BROTTTO, L.; CICCARESE, L.; PETTENELLA, D. An overview of Italian participation in afforestation and reforestation projects under the Clean Development Mechanism. **iForest - Biogeosciences and Forestry**, v. 9, n. 5, p. 720-728, 2016.

CORREA, C. M. Innovation and Technology Transfer of Environmentally Sound Technologies: The Need to Engage in a Substantive Debate. **Review of European, Comparative & International Environmental Law**, v. 22, n. 1, p. 54-61, 2013.

DA SILVA, V. L.; KOVALESKI, J. L.; PAGANI, R. N. Technology transfer in the supply chain oriented to industry 4.0: a literature

DA XU, L.; HE, W.; LI, S. Internet of things in industries: a survey. **IEEE Trans. Ind. Inf**, v.10, n.4, p.2233–2243, 2014.

DAIS, S. Industrie 4.0 - Anstoß, Vision, Vorgehen. In: Bauernhansl T, ten Hompel M, Vogel Heuser B (eds) Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung. Technologien. Migration. **Springer, Wiesbaden**, p.625–634, 2014.

DASGUPTA, P. TANEJA, N. Low Carbon Growth: An Indian Perspective on

Sustainability and Technology Transfer. **Problemy Ekorozwoju - Problems of Sustainable Development**, v. 6, p. 65-74, 2011.

DAVIES, A.; FIDLER, D.; GORBIS, M. Future Work Skills 2020, **Available at Institute for the Future for University of Phoenix Research Institute**, p. 540, 2011

DAVIS, J.; EDGAR, T.; GRAYBILL, R.; KORAMBATH, P.; SCHOTT, B.; SWINK, D.; WANG, J.; WETZEL, J. Smart Manufacturing, **Annual review of chemical and biomolecular engineering**. v.6, p. 141–160, 2015.

DAVIS, J.; EDGAR, T.; PORTER, J.; BERNADEN, J.; SARLI, M. Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance. **Comput Chem Eng**, v.47, p.145–156, 2012.

DE CONINCK, Heleen; HAAKE, Frauke; VAN DER LINDEN, Nico. Technology transfer in the clean development mechanism. **Climate policy**, v. 7, n. 5, p. 444-456, 2007.

DEBACKERE, K.; ANDERSEN, B.; DVORAK, I.; ENKEL, E.; KRUGER, P.; MALMQVIST, H.; PLECKAITIS, A.; REHN, A.; SECALL, S.; VERMEULEN, E.; WELLEN, D. Boosting Open Innovation and Knowledge Transfer in the EU: Independent Expert Group Report on Open Innovation and Knowledge Transfer, **European Commission**, Brussels, 2014.

DEBACKERE, K.; VEUGELERS, R. The role of academic technology transfer organizations in improving industry science link. **Research Policy**, v. 34, n. 3, p. 321-342, 2005.

DJUMALIEVA, J.; SLEEMAN, C. Which digital skills do you really need?. **Nesta**, 2018.

DOMBROWSKI, U.; WAGNER, T. **Procedia CIRP**, v.17, p.100–105, 2014.

DOUKAS, H.; KARAKOSTA, C.; PSARRAS, J. RES technology transfer within the new climate regime: A “helicopter” view under the CDM. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 5, p. 1138–1143, 2009.

DUTRÉNIT, G.; ARZA, V. Channels and benefits of interactions between public research organisations and industry: comparing four Latin American countries. **Science and Public Policy**, v. 37 n. 7, p. 541-553, 2010.

EATON, D. Technology and Innovation for a Green Economy. **Review of European, Comparative & International Environmental Law**, v. 22, n. 1, p. 62–67, 2013.

EFSTATHIADES, A.; TASSOU, S.; ANTONIOU, A. Strategic planning, transfer and implementation of Advanced Manufacturing Technologies (AMT). Development of an integrated process plan. **Technovation**, v. 22, n. 4, p. 201-212, 2002.

EITZEL, M. V.; HOVE, E. M.; SOLERA, J.; MADZORO, S.; CHANGARARA, A.; NDLOVU, D.; GWATIPEDZA, S.; MHIZHA, M.; NDLOVU, M. Sustainable development as successful technology transfer: Empowerment through teaching, learning, and using digital participatory mapping techniques in Mazvihwa, Zimbabwe. **Development Engineering**, v. 3, p. 196–208, 2018.

EROL, S.; JÄGER, A.; HOLD, P.; OTT, K.; SIHN, W. **Procedia CIRP**, v.54, p.13–18, 2016.

ESCALANTE, K. N.; BELMONTE, S.; GEA, M. D. Determining factors in process of socio-technical adequacy of renewable energy in Andean Communities of Salta, Argentina. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 22, p. 275–288, 2013.

ESMAEILIAN, B.; BEHDAD, S.; WANG, B. The evolution and future of manufacturing: A review. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 39, p. 79-100, 2016.

ETZKOWITZ, H.; LEYDESDORFF, L. The dynamics of innovation: from national systems and 'mode 2' to a tri- ple helix of university-industry-government relations. **Research Policy**, v.29, p.109–123, 2000.

FANG C.; LIU, X.; PARDALOS, P. M.; PEI, J. Optimization for a three-stage production system in the internet of things: procurement, production and product recovery, and acquisition, **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v.83, n.5-8, p.689–710, 2016.

FASEHUN, A. O. The War on Climate Change: Ushering in Sustainable Development to VDCs through a Technical Capacity-building Facility. **Environmental Claims Journal**, v. 27, n. 3, p. 196-225, 2015.

FENG, S. C.; BERNSTEIN, W. Z.; HEDBERG JR, T. Towards Knowledge Management for Smart Manufacturing. **Journal of Computing and Information Science in Engineering**, v.17, n.3, p.1–40, 2017.

FERREIRA, J. J.; FERNANDES, C.; RATTEN, V. Environmental-related patent technology transfer effectiveness: A comparison between Portugal and Australia using OECD data. **World Journal of Entrepreneurship, Management and Sustainable Development**, v. 14, n. 3, p. 206-221, 2018.

FLAMOS, A. The clean development mechanism—catalyst for wide spread deployment of renewable energy technologies? or misnomer? **Environment, Development and Sustainability**, v. 12, n. 1, p. 89–102, 2010.

FLAMOS, A.; BEGG, K. Technology transfer insights for new climate regime. **Environment, Development and Sustainability**, v. 12, n. 1, p. 19–33, 2010.

FLAMOS, A.; GEORGALLIS, P. G.; PSARRAS, J. Bioenergy Options in the Industrialized and Developing World and Opportunities for the Clean Development Mechanism. **International Journal of Green Energy**, v. 7, n. 6, p. 647–661, 2010.

FOIDL, H.; FELDERER, M. Research Challenges of Industry 4.0 for Quality Management. **Innovations in Enterprise Information Systems Management and Engineering**, Springer, p. 121–137, 2016.

FREEMAN, C. The 'National System of Innovation' in historical perspective. **Cambridge Journal of Economics**, v.19, p. 5-24, 1995.

FREY, C.B.; OSBORNE, M.A. The future of employment: how susceptible are jobs to computerization? **Technology Forecasting Social Change**, v.114, p.254–280, 2017.

FU, Y.; DING, J.; WANG, H.; WANG, J. Two-objective stochastic flow-shop scheduling with deteriorating and learning effect in Industry 4.0-based manufacturing system. **Applied Soft Computing**, v.68, p.847-855, 2018.

FU, S.; LI, Z.; LIU, K.; DIN, S.; IMRAN, M.; YANG, X. Model Compression for IoT Applications in Industry 4.0 via Multiscale Knowledge Transfer. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 16, n. 9, p. 6013–6022, 2019.

FUENTES, C.; DUTRÉNIT, G. Best channels of academia–industry interaction for long-term benefit. **Research Policy**, v. 41, n. 9, p. 1666-1682, 2012.

GABUS, A.; FONTELA, E. World problems, an invitation to further thought within the framework of DEMATEL. Switzerland, Geneva, 1972.

GALLAGHER, K. S. Limits to leapfrogging in energy technologies? Evidence from the Chinese automobile industry. **Energy Policy**, v. 34, n. 4, p. 383–394, 2006.

GANZARAIN, J.; ERRASTI, N. Three stage maturity model in SME's toward industry 4.0. **Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)**, v. 9, n. 5, p. 1119-1128, 2016.

GARBELLANO, S.; DA VEIGA, M. R. Dynamic capabilities in Italian leading SMEs adopting industry 4.0. **Measuring Business Excellence**, v. 23, n.4, p.472–483, 2019.

GARCIA, M.L.; BRAY, O.H. Fundamentals of Technology Roadmapping (No. SAND—97-0665). **Sandia National Labs, Albuquerque, NM (United States)**, 1997.

GEORGE, M.; OSMAN, A. S. S.; GEORGE, A. R.; HUSSIN, H. Protecting the Malacca and Singapore Straits from Ships' Atmospheric Emissions through the Implementation of MARPOL Annex VI. **The International Journal of Marine and Coastal Law**, v. 32, n. 1, p. 95–137, 2017.

GERSTLBERGER, W. Regional innovation systems and sustainability—selected examples of international discussion. **Technovation**, v. 24, n. 9, p. 749–758, 2004.

GILCHRIST, A. Industry 4.0: The Industrial Internet of Things. Springer, Heidelberg, 2016.

GILSING, V. Differences in technology transfer between science-based and development-based industries: Transfer mechanisms and barriers. **Technovation**, v. 31, n. 12, p. 638–647, 2011.

GISSELQUIST, D.; GREYER, J.M. An argument for deregulating the transfer of agriculture technologies to developing countries. **World Bank Econ**, v.14, n.10, p.111–128, 2000.

GJELDUM, N.; MLADINEO, M.; VEŽA, I. Transfer of model of innovative smart factory to Croatian economy using lean learning factory. **Procedia CIRP**, v.54, p.158–163, 2016.

GNIMPIEBA, Z. D. R.; NAIT-SIDI-MOH, A.; DURAND, D.; FORTIN, J. Using internet of things technologies for a collaborative supply chain: application to tracking of pallets and containers. **Procedia Computer Science**, v.56, p.550–557, 2015.

GÖKALP, E.; ŞENER, U.; EREN, P. E. Development of an assessment model for industry 4.0: industry 4.0-MM. In: **International Conference on Software Process Improvement and Capability Determination**. Springer, Cham, p. 128–142, 2017.

GORECKY, D.; SCHMITT, M.; LOSKYLL, M.; ZÜHLKE, D. Human-machine-interaction in the industry 4.0 era. **IEEE International Conference on Industrial Informatics IEEE**, p.289–294, 2014.

GRIMALDI, R.; KENNEY, M.; SIEGEL, D.S.; WRIGHT, M. 30 Years after Bayh-dole: reassessing academic entrepreneurship. **Research Policy**, v.40, p.1045–1057, 2011.

GUPTA, P.; SEETHARAMAN, A.; RAJ, J. R. The Usage and Adoption of Cloud Computing by Small and Medium Businesses. **International Journal of Information Management**, v.33, p.861–874, 2013.

HAJRIZI, E.; STAPLETON, L.; KOPACEK, P. The Contribution of UBT for the sustainable development of Kosova. **IFAC Proceedings Volumes**, v. 43, n. 25, p. 47–52, 2010.

HAMID, N.; SALIM, J. A conceptual framework of knowledge transfer in Malaysia e-government IT outsourcing: an integration with transactive memory system (TMS). **IJCSI International Journal of Computer Science Issues**, v. 8, n.5, p. 51-64, 2011.

HANNOLA, L.; RICHTER, A.; RICHTER, S.; STOCKER, A. Empowering production workers with digitally facilitated knowledge processes—a conceptual framework. **International Journal of Production Research**, v.56, n.14, p.4729-4743, 2018.

HECKLAU, F.; GALEITZKE, M.; FLACHS, S.; KOHL, H. Holistic approach for human resource management in industry 4.0. **Procedia CIRP**, v.54, 2016.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. **Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences**, p. 3928–3937, 2016.

HOGNELID, P.; KALLING, T. Internet of things and business models. In **standardization and innovation in information technology (SIIT), IEEE 9th International Conference on, IEEE**, p. 1–7, 2015.

HUANG, X.; HSIEH, J.J.; HE, W. Expertise dissimilarity and creativity: the contingent roles of tacit and explicit knowledge sharing. **Journal of Applied Psychology**, v. 99, n. 5, p. 816-830, 2014.

HUSSAIN, M. I. Internet of things: challenges and research opportunities. **CSI Trans, ICT**, v.5, n.1, p.87–95, 2017.

IGNATAVIČIUS, R.; TVARONAVIČIENĖ, M.; PICCINETTI, L. Sustainable development through technology transfer networks: Case of Lithuania. **Journal of Security and Sustainability Issues**, v. 4, p. 261-267, 2015.

ILIE, I.; GHEORGHE, G. I. Role of technological transfer for mems & nems in intelligent manufacturing process. **Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics**, n. 45, p. 175, 2014.

INBAL, A. B.; TZACHOR, A. National policy and SMEs in technology transfer: the case of Israel. **Climate Policy**, v. 15, n. 1, p. 88–102, 2013.

ISMAIL, M. Conceptualizing knowledge transfer between expatriates and host country nationals: the mediating effect of social Capital. **Cogent Business and Management**, v. 2, n. 1, p. 1-16, 2015.

ISO, 2015. ISO/IEC 33004 - Information technology — Process assessment — Requirements for process reference, process assessment and maturity models. 2015.

ITUARTE, I. F.; CHEKUROV, S.; TUOMI, J.; MASCOLO, J. E.; ZANELLA, A.; SPRINGER, P.; PARTANEN, J. Digital manufacturing applicability of a laser sintered component for automotive industry: A case study. **Rapid Prototyping Journal**, 2018.

IVANOVA, I. Quadruple helix systems and symmetry: a step towards helix innovation system Classification. **Journal of the Knowledge Economy**, v.5, p.357–369, 2014.

IVEZIC, N.; KULVATUNYOU, B.; SRINIVASAN, V. On Architecting and Composing Through-life Engineering Information Services to Enable Smart Manufacturing. **Procedia CIRP**, v.22, p. 45-52, 2014.

JARA, A. J.; PARRA, M. C.; SKARMETA, A. F. Marketing 4.0: A new value added to the Marketing through the Internet of Things. In: **2012 Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing**. IEEE, 2012. p. 852-857.

JASON, S.; CURIEL, A. S.; LIDDLE, D.; CHIZEA, F.; LELOGLU, U. M.; HELVACI, M.; BEKHTI, M.; BENACHIR, D.; BOLAND, L.; GOMES, L.; SWEETING, M. Capacity building in emerging space nations: Experiences, challenges and benefits. **Advances in Space Research**, v. 46, n. 5, p. 571–581, 2010.

JIANG, R.; KLEER, R.; PILLER, F. T. Predicting the future of additive manufacturing: A Delphi study on economic and societal implications of 3D printing for 2030. **Technology Forecasting Social Change**, v.117, p.84–97, 2017.

KAGERMANN, H.; ANDERL, R.; GAUSEMEIER, J.; SCHUH, G.; WAHLSTER, W. Industrie 4.0 in a Global Context. **Munich: Herbert Utz Verlag**, 2016.

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

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0. **Industrie 4.0 Working Group, Germany**, 2013.

KAHN, K. B.; CASTELLION, G.; GRIFFIN, A. (Ed.). **The PDMA handbook of new product development**. Hoboken, NJ: Wiley, 2005.

KAMBLE, S. S.; GUNASEKARAN, A.; GAWANKAR, S. A. Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 117, p. 408-425, 2018.

KAMIGAKI, T. ObjectOriented RFID with IoT: a design concept of information systems in manufacturing. **Electronics**, v.6, n.1, p.14, 2017.

KANG, H. S.; JU, Y. L.; SANG, S. C.; HYUN, K.; JUN, H. P.; JI, Y. S.; BO, H. K.; SANG, D. N. Smart Manufacturing: Past Research, Present Findings, and Future

Directions. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology**, v.3, n.1, p.111–128, 2016.

KANG, M. J.; PARK, J. Analysis of the partnership network in the clean development mechanism. **Energy Policy**, 52, p. 543-553, 2013.

KARAKOSTA, C.; DOUKAS, H.; PSARRAS, J. Carbon market and technology transfer: statistical analysis for exploring implications. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 19, n. 4, p. 311–320, 2012.

KARAKOSTA, C.; DOUKAS, H.; PSARRAS, J. CDM sustainable technology transfer grounded in participatory in-country processes in Israel. **International Journal of Sustainable Society**, v. 3, n. 3, p. 225-242, 2011.

KARAKOSTA, C.; DOUKAS, H.; PSARRAS, J. EU–MENA energy technology transfer under the CDM: Israel as a frontrunner? **Energy Policy**, v. 38, n. 5, p. 2455–2462, 2010a.

KARAKOSTA, C.; DOUKAS, H.; PSARRAS, J. Shaping sustainable development strategies in Chile through CDM. **International Journal of Climate Change Strategies and Management**, v. 1, n. 4, p. 382–399, 2009.

KARAKOSTA, C.; DOUKAS, H.; PSARRAS, J. Technology transfer through climate change: Setting a sustainable energy pattern. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 6, p. 1546-1557, 2010b.

KARAKOSTA, C.; PSARRAS, J. Facilitating sustainable development in Chile: a survey of suitable energy technologies. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 16, n. 5, p. 322–331, 2009.

KARRE, H.; HAMMER, M.; KLEINDIENST, M.; RAMSAUER, C. Transition towards an Industry 4.0 state of the LeanLab at Graz University of Technology. **Procedia manufacturing**, v.9, p.206-213, 2017.

KATHURIA, V. Technology transfer for GHG reduction: A framework with application to India. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 69, n. 4, p. 405-430, 2002.

KAYNAK, O. The Exhilarating Journey from Industrial Electronics to Industrial Informatics. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v.1, n.2, p.73, 2005.

KENNEDY, M.; BASU, B. Overcoming barriers to low carbon technology transfer and deployment: An exploration of the impact of projects in developing and emerging economies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 26, p. 685-693, 2013.

KHAITAN, K.; JAMES, D. M. Design Techniques and Applications of Cyberphysical Systems: A Survey. **IEEE Systems Journal**, v.9, n.2, p.350–365, 2015.

KHAN, A.; TUROWSKI, K. A survey of current challenges in manufacturing industry and preparation for Industry 4.0, Proceedings of the First International Scientific Conference Intelligent Information Technologies for Industry, **Springer International Publishing**, p. 15–26, 2016.

KHAN, J.; HALEEM, A.; HUSAIN, Z. Barriers to technology transfer: a total interpretative structural model approach. **International Journal of Manufacturing Technology and Management**, v. 31, n. 6, p. 511-536, 2017.

KOCH, C.; BLIND, K. Towards Agile Standardization: Testbeds in Support of Standardization for the IIoT. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 68, n. 1, p. 59-74, 2020.

KOCH, P. J.; VAN AMSTEL, M. K.; DE\_BSKA, P.; THORMANN, M. A.; TETZLAFF, A. J.; BØGH, S.; CHRYSOSTOMOU, D. A Skill-based Robot Co-worker for Industrial Maintenance Tasks, **Procedia Manuf**, v.11, p.83–90, 2017.

KOCH, V.; KUGE, S.; GEISSBAUER, R.; SCHRAUF, S. Industry 4.0: Opportunities and Challenges of the Industrial Internet. **Strategy & PwC**, 2014.

KOCIAN, J.; TUTSCH, M.; OZANA, S.; KOZIOREK, J. Application of modeling and simulation techniques for technology units in industrial control. In: **Frontiers in Computer Education**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012. p. 491-499.

KOEFOED, M.; BUCKLEY, C. Clean technology transfer: a case study from the South African metal finishing industry, 2000–2005. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, n. 1, p. S78-S84, 2008.

KOHLEGGER, M.; MAIER, R.; THALMANN, S. Understanding maturity models results of a structured content analysis. **Proceedings of the I-KNOW 2009—9th International Conference on Knowledge Management and Knowledge Technologies and Proceedings of I-SEMANTICS 2009**, Graz, Austria, p. 51–61, 2009.

KOSIERADZKA, A. Maturity model for production management. **Procedia Eng**, v.182, p.342–349, 2007.

KREILING, L.; BOUNFOUR, A.. A practice-based maturity model for holistic TTO performance management: development and initial use. **The Journal of Technology Transfer**, p. 1-30, 2019.

KRUCKENBERG, L. J. North–South partnerships for sustainable energy: Knowledge–power relations in development assistance for renewable energy. **Energy for Sustainable Development**, v. 29, p. 91–99, 2015a.

KRUCKENBERG, L. J. Renewable energy partnerships in development cooperation: Towards a relational understanding of technical assistance. **Energy Policy**, v. 77, p.

11–20, 2015b.

KRÜCKHANS, B.; MORLOCK, F.; PRINZ, C.; FREITH, S.; KREIMEIER, D.; KUHLENKÖTTER, B. Learning Factories qualify SMEs to operate a smart factory. **COMA'16 Proceedings: International Conference on Competitive Manufacturing**, v.27-29, p. 457–460, 2016.

KRUGER, S.; STEYN, A. A. Enhancing technology transfer through entrepreneurial development: practices from innovation spaces. **Journal of Technology Transfer**, v. 45, n. 6, p.1655–1689, 2020.

KUKKO, M. Knowledge sharing barriers in organic growth: A case study from a software company. **The Journal of High Technology Management Research**, 2013, v. 24, n. 1, p. 18–29.

KUMAR, A.; NAYYAR, A. si 3-Industry: A Sustainable, Intelligent, Innovative, Internet-of-Things Industry. In: **A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development**. Springer, Cham, p. 1-21, 2020.

KUSIAK, Andrew. Smart manufacturing. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 1-2, p. 508-517, 2018.

KWAK Y.H.; IBBS C.W. Project management process maturity (PM) 2 model. **Journal of Management Engineering**, v.18, n.3, p.150–155, 2002.

LAMB, F.; ARLETT, C.; DALES, R.; DITCHFIELD B.; PARKIN, B. Engineering graduates for industry. **The Royal Academy of Engineering**, 2010.

LANZA, G.; HAEFNER, B.; KRAEMER, A. Optimization of selective assembly and adaptive manufacturing by means of cyber-physical system based matching. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 64, n. 1, p. 399–402, 2015.

LASI, H.; FETTKE, P.; KEMPER, G.; FELD, T.; HOFFMANN, M. Industry 4.0: Bedarfssog und Technologiedruck als Treiber der vierten Industrillen Revolution. **The International Journal of Wirtschaftsinformatik**, v.56, p.261–264, 2014.

LASRADO, L.A. **Set-Theoretic Approach to Maturity Models**, PhD Series, n. 15. ISBN 9788793579774. Copenhagen Business School (CBS). 2018.

LAVALLE, S.; LESSER, E.; SHOCKLEY, R.; HOPKINS, M.S.; KRUSCHWITZ, N. Big data, analytics and the path from insights to value. **MIT Sloan Management Review**, v. 52, n. 2, p. 21-32, 2011.

LEE, A. H. I.; WANG, W.-M.; LIN, T.-Y. An evaluation framework for technology transfer of new equipment in high technology industry. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 77, n. 1, p. 135-150, jan 2010.

LEE, I.; LEE, K. The internet of things (IoT): applications, investments, and challenges for enterprises. **Business Horizons**, v.58, n.4, p.431–440, 2015.

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

LEE, J.; HAN, S.; YANG, J. Construction of a Computer-Simulated Mixed Reality Environment for Virtual Factory Layout Planning. **Computers in Industry**, v.62, p.86–98, 2011.

LEE, J.; LAIRA, E.; BAGHERI, B.; KAO, H. Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment. **Manufacturing Letters**, v.1, n.1, p.38–41, 2013.

LEMA, A.; LEMA, R. Low-carbon innovation and technology transfer in latecomer countries: Insights from solar PV in the clean development mechanism. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 104, p. 223–236, 2016.

LEMA, R.; HANLIN, R.; HANSEN, U. E.; NZILA, C. Renewable electrification and local capability formation: Linkages and interactive learning. **Energy Policy**, v. 117, p. 326–339, 2018.

LEMOS, D.; FERRAZ, S. University-industry interaction in Santa Catarina: evolutionary phases, forms of interaction, benefits, and barriers. **Revista de Administração e Inovação**, v. 14, n. 1, p. 16-29, 2017.

LEYDESDORFF, L. The triple helix, quadruple helix, and an N-tuple of helices: explanatory models for analyzing the Knowledge-based economy? **Journal of the Knowledge Economy**, v.3, p.25–35, 2011.

LI, F.; ZHANG, S.; JIN, Y. Sustainability of University Technology Transfer: Mediating Effect of Inventor's Technology Service. **Sustainability**, v. 10, n. 6, p. 2085, 2018.

LIAO, Yongxin. Past, present and future of Industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal. **International journal of production research**, v. 55, n. 12, p. 3609-3629, 2017.

LIBONI, L. B.; CEZARINO, L.; JABBOUR, O.; OLIVEIRA, C. J. C.; STEFANELLI, N. O. Smart industry and the pathways to HRM 4.0: implications for SCM. **Supply Chain Management: An International Journal**, 2019.

LIN, B.; BERG, D. Effects of cultural difference on technology transfer projects: an empirical study of Taiwanese manufacturing companies. **International Journal of Project Management**, v. 19, n. 5, p. 287-293, 2001.

LIN, T. C. Compliance, technology, and modern finance. **Brook. J. Corp. Fin. Com. L.**, v.11, p.159, 2016.

LIN, T.; WANG, K.; SHENG, M. L. To assess smart manufacturing readiness by maturity model: A case study on Taiwan enterprises. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 33, n. 1, p. 102-115, 2020.

LINK, A.; SIEGEL, D.; BOZEMAN, B. An empirical analysis of the propensity of academics to engage in informal university technology transfer. **Industrial and Corporate Change**, v. 16, n. 4, p. 641-655, 2007.

LIU, H.; ESSER, L. J.; WHITING, K. Realising Rio principles through sustainable energy solutions: Application of small hydropower (SHP) in China and other developing countries. **International Journal of Technology Management & Sustainable Development**, v. 12, n. 3, p. 281–300, 2013.

LIU, H.; LIANG, X. Strategy for promoting low-carbon technology transfer to developing countries: The case of CCS. **Energy Policy**, v. 39, n. 6, p. 3106-3116, 2011.

LORNA, U.; HE, W. How the internet of things can help knowledge management: a case study from the automotive domain. **Journal of Knowledge Management**, v.21, n.1, p.57–70, 2017.

LOVETT, J. C.; HOFMAN, P. S.; MORSINK, K.; TORRES, A. B.; CLANCY, J. S.; KRABBENDAM, K. Review of the 2008 UNFCCC meeting in Poznań. **Energy Policy**, v. 37, n. 9, p. 3701–3705, 2009.

LUCKE, D.; CONSTANTINESCU, C.; WESTKAMPFER, E. Smart Factory – A Step towards the Next Generation of Manufacturing. M. Mitsuishi, K. Ueda, and F. Kimura (Eds.), *Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier*, **Springer London, London**, p. 115–118, 2008.

LYBÆK, R., ANDERSEN, J. Enhancing the sustainable development contribution of future CDM projects in Asia. **Progress in Industrial Ecology - An International Journal**, v. 7, n. 1, p. 6-34, 2010.

MACGREGOR, S.P.; MARQUES-GOU, P.; AND SIMON-VILLAR, A. Gauging readiness for the quadruple helix: a study of 16 european organisations. **Journal of the Knowledge Economy**, v.1, p.173–190, 2010.

MAGRUK, A. Uncertainty in the sphere of the industry 4.0–potential areas to research. **Business, Management and Education**, v. 14, n. 2, p. 275-291, 2016.

MAHMOOD, T.; MUBARIK, M. S. Balancing innovation and exploitation in the fourth industrial revolution: Role of intellectual capital and technology absorptive capacity. **Technological Forecasting and Social Change**, n. 160, 2020.

MAIA, R. F.; MASSOTE, A. A.; LIMA, F. Innovative laboratory model based on partnerships and active learning. **Frontiers in Education Conference (FIE). IEEE**, p.1-5, 2017.

MAKAREWICZ-MARCINKIEWICZ, A. Strategies Against Technological Exclusion. The Contribution of the Sustainable Development Concept to the Process of Economic Inclusion of Developing Countries. **Problemy Ekorożwoju - Problems of Sustainable Development**, v. 8, n. 2, p. 67-74, 2013.

MAKRINI, I. E. Working with Walt: How a Cobot Was Developed and Inserted on an Auto Assembly Line. **IEEE Robotics Autom**, v.25, n.2, p.51– 58, 2018.

MANYUCHI, A. E. Outward foreign direct investment from South Africa's energy sector and the transfer of environmentally sound technologies to Uganda's energy sector. **African Journal of Science, Technology, Innovation and Development**, v. 9, n. 3, p. 303–314, 2017.

MARQUES, M.; AGOSTINHO, C.; ZACHAREWICZ, G.; JARDIM-GONÇALVES, R. 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.

MCADAM, R.; MILLER, K.; MCADAM, M.; TEAGUE, S. The development of university technology transfer stakeholder relationships at a regional level: lessons for the future. **Technovation**, v.32, p.57–67, 2012.

MEHTA, C.; SHANKAR, U.; BANDOPADHYAY, T. K. Low Carbon Technologies for Our Cities of Future: Examining Mechanisms for Successful Transfer and Diffusion. **India Quarterly**, v. 72, n. 4, p. 410–422, 2016.

MENDOZA, Ximena Patricia López; SANCHEZ, David Santos Mauricio. A systematic literature review on technology transfer from university to industry. **International Journal of Business and Systems Research**, v. 12, n. 2, p. 197-225, 2018.

MERZ, M.; MANGINI, M. Contracting and remote engineering consulting services. **Proceedings of the eLEGAL 2002 European Conference on Legal Aspects of ICT Application in Project-Based Business**, v.3, n.4, 2002.

METTLER, T. Maturity Assessment Models: A Design Science Research Approach. **International Journal of Society Systems Science**, v.3, n.1-2, p.81-98, 2011.

MICHNA, A.; KMIĘCIAK, R. Open-mindedness culture, knowledge-sharing, financial performance, and industry 4.0 in smes. **Sustainability**, v. 12, n. 21, p. 1–17, 2020.

MICHNIEWICZ, J.; REINHART, G. Cyber-Physical Robotics – Automated Analysis, Programming and Configuration of Robot Cells Based on Cyber-Physical-Systems. **Procedia Technology**, v.15, p.566–575, 2014.

MILLER, K.; MCADAM, R.; MCADAM, M. A systematic literature review of university technology transfer from a quadruple helix perspective: toward a research agenda. **R&D Management**, v. 48, n. 1, p. 7-24, 2018.

MIRANDA, F.; CHAMORRO, A.; RUBIO, S. Re-thinking university spin-off: A critical literature review and a research agenda. **The Journal of Technology Transfer**, v. 43, n. 4, p. 1007-1038, 2018.

MOEUF, A.; PELLERIN, R.; LAMOURE, S.; TAMAYO-GIRALDO, S.; BARBARAY, R. The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. **International Journal of Production Research**, v.56, n.3, p.1118-1136, 2018.

MOGHADDAM, M.; NOF, S. Collaborative Service-component Integration in Cloud Manufacturing. **International Journal of Production Research**, 2017.

MORELL, L.; TRUCCO, M. A proven model to re- engineer engineering education in partnership with industry. **World Engineering Education Forum, Buenos Aires, Argentina**, p.14–18, 2012.

MORGERA, E.; NTONA, M. Linking small-scale fisheries to international obligations on marine technology transfer. **Marine Policy**, v. 93, p. 295–306, 2018.

MOTYL, B.; BARONIO, G.; UBERTI, S.; SPERANZA, D.; FILIPPI, S. How will Change the Future Engineers' Skills in the Industry 4.0 Framework? A Questionnaire Survey. **Procedia Manufacturing**, v.11, p.1501–1509, 2017.

MOYNE, J.; ISKANDAR, J. Big data analytics for smart manufacturing: case studies in semiconductor manufacturing. **PROCESSES**, v.5, n.3, 2017.

MUELLER, E.; CHEN, X. L.; RIEDEL, R. Challenges and requirements for the application of industry 4.0: a special insight with the usage of cyber-physical system. **Chinese Journal of Mechanical Engineering**, v.30, n.5, p.1050–1057, 2017.

MULAMULA, G.; AMADI-ECHENDU, J. An examination of the potential links between ICT technology transfer and sustainable development. **International Journal of Technology Management & Sustainable Development**, v. 16, n. 2, p. 119-139, 2017.

NAKANO, D.; MUNIZ Jr, J.; BATISTA Jr, E. D. Engaging Environments: Tacit Knowledge Sharing on the Shop Floor. **Journal of Knowledge Management** , v.17, n.2, p.290–306, 2013.

NIKKHOU, S.; TAGHIZADEH, K.; HAJIYAKHCHALI, S. Designing a portfolio management maturity model (Elena). **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 226, p. 318-325, 2016.

NÉSTOR F.; ALEJANDRO G.; DALENOGARE, L. S.; AYALA, F. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. **International Journal of Production Economics**, v. 210, p. 15-26, 2019.

NHAMO, G. REDD+ and the global climate policy negotiating regimes: Challenges and opportunities for Africa. **South African Journal of International Affairs**, v. 18, n. 3, p. 385–406, 2011.

NIDHRA, S., YANAMADALA, M., AFZAL, W., TORKAR, R. Knowledge transfer challenges and mitigation strategies in global software development—A systematic literature review and industrial validation. **International Journal of Information Management**, 2013, v. 33, n. 2, p. 333–355.

O'BRIEN, G.; O'KEEFE, P.; ROSE, J. Energy, poverty and governance. **International Journal of Environmental Studies**, v. 64, n. 5, p. 605-616, 2007.

OCKWELL, D. G. Key policy considerations for facilitating low carbon technology transfer to developing countries. **Energy Policy**, v. 36. Brighton, p. 4104-4115, 2008.

OESTERREICH, T. D.; TEUTEBERG, F. Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. **Computers in industry**, v. 83, p. 121-139, 2016.

OSABUTEY, E.L.C.; JIN, Z. Factors influencing technology and knowledge transfer: configurational recipes for Sub-Saharan Africa. **Journal of Business Research**, v. 69, n. 11, p. 5390-5395, 2016.

OZTEMEL, E.; GURSEV, S.. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 31, n. 1, p. 127-182, 2020.

PAGANI, R.; KOVALESKI, J.; RESENDE, L. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v.105, n.3, p.2109-2135, 2015.

PALACIOS-MARQUÉS, D.; PERIS-ORTIZ, M.; MERIGÓ, J. M. The effect of knowledge transfer on firm performance. **Management Decision**, 2013.

PATIL, S. K.; KANT, R. A fuzzy AHP-TOPSIS framework for ranking the solutions of knowledge management adoption in supply chain to overcome its barriers. **Expert Systems with Applications**, 2014, v. 41, n. 2, p. 679–693.

PARK, S. H.; SHIN, W. S.; PARK, Y. H.; LEE, Y. Building a New Culture for Quality Management in the Era of the Fourth Industrial Revolution. **Total Quality Management & Business Excellence**, v.28, n.9, p.934–945, 2017.

PARK, S.-H.; LEE, Y.-G. Perspectives on Technology Transfer Strategies of Korean Companies in Point of Resource and Capability Based View. **Journal of technology management & innovation**, v. 6, p. 161-184, 2011.

PARNPHUMESUP, P.; KERR, S. A. Stakeholder preferences towards the sustainable development of CDM projects: Lessons from biomass (rice husk) CDM project in Thailand. **Energy Policy**, v. 39, n. 6, p. 3591–3601, 2011.

PAULK, M. Capability maturity model for software. **Encyclopedia of Software Engineering**, 2002.

PEARCE, J.; ALBRITTON, S.; GRANT, G.; STEED, G.; ZELENKA, I. A New Model for Enabling Innovation in Appropriate Technology for Sustainable Development. **Sustainability: Science, Practice, and Policy**. v. 8. p. 42-53, 2012.

PEI, F.Q.; TONG, Y.F.; HE, F.; LI, D.B. Research on design of the smart factory for forging enterprise in the Industry 4.0 environment. **Mechanika**, v.23, n.1, 2017.

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

PÉREZ, M. P.; SÁNCHEZ, A. M. The development of university spin-offs: early dynamics of technology transfer and networking. **Technovation**, v. 23, p. 823-831, 2003.

PERSSON, J.G. Current trends in product development. **Procedia CIRP**, v.50, p.378–383, 2016.

PESSL, E.; SORKO, S.; MAYER, B. Roadmap Industry 4.0—implementation guideline for enterprises. **International Journal of Science, Technology and Society**, v. 5, n. 6, p. 193-202, 2017.

PETER, J.; RYAN; RICHARD, B.; WATSON. Research challenges for the internet of things: what role can OR play? **Systems**, v.5, n.1, p.17–24, 2017.

PFEIFFER, S. Robots, Industry 4.0 and humans, or why assembly work is more than routine work. **Societies**, v.6, n.2, 2016.

PHUSAVAT, K.; KESS, P. Roadmap for knowledge sharing and transfer: sustaining outsourcing relationships. **International journal of innovation and learning**, v. 5, n. 5, p. 496-511, 2008.

PINARD, M. I. Need for Effective Technology Transfer to Ensure Sustainability of Otta Seal. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2349, n. 1, p. 129–135, 2013.

POPP, D. International Technology Transfer, Climate Change, and the Clean Development Mechanism. **Review of Environmental Economics and Policy**, v. 5, n. 1, p. 131–152, 2011.

POSADA J.; CARLOS T.; INÍ I.; DAVID O.; DIDIER S.; AMICIS R.; PINTO, E. B.; EISERT, P.; DÖLLNER, J.; VALLARINO, I.. Visual computing as a key enabling technology for industrie 4. 0 and industrial internet. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v.35, n. 2, p.26–40, 2015.

POSSELT, G.; BÖHME, S.; AYMANS, S.; HERRMANN, C.; KAUFFELD, S. Intelligent learning management by means of multi-sensory feedback. **Procedia CIRP**, v.54, p.77-82, 2016.

PREUVENEERS, D.; ILIE-ZUDOR, E. The intelligent industry of the future: a survey on emerging trends, research challenges and opportunities in Industry 4.0. **Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments**, v.9, n.3, 2017.

PUEYO, A. The role of technology transfer for the development of a local wind component industry in Chile. **Energy Policy**, v. 39, p. 4274-4283. abr. 2011.

QIN, J.; LIU, Y.; GROSVENOR, R. A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond. **Procedia Cirp**, v. 52, p. 173-178, 2016.

RADZIWON, A.; BILBERG, A.; BOGERS, M.; MADSEN, E. S. The smart factory: exploring adaptive and flexible manufacturing solutions. **Procedia engineering**, v. 69, p. 1184-1190, 2014.

REIF, R.; SHIRLEY, A.J.; LIVERIS, L. Report To The President Accelerating U.S. **Advanced Manufacturing**, 2014.

RAHMAN, A.; BENNETT, D. Advanced manufacturing technology adoption in developing countries. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2009.

RAHMAN, A.; BROOKES, N. J.; BENNETT, D. J. The precursors and impacts of BSR on AMT acquisition and implementation. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 56, n. 2, p. 285-297, 2009a.

RAHMAN, A.; BENNETT, D.; SOHAL, A. Transaction attributes and buyer-supplier relationships in AMT acquisition and implementation: the case of Malaysia. **International Journal of Production Research**, v. 47, n. 9, p. 2257-2278, 2009b.

RAI, V.; SCHULTZ, K.; FUNKHOUSER, E. International low carbon technology transfer: Do intellectual property regimes matter? **Global Environmental Change**, v. 24, p. 60-74, 2014.

RAUCH, E.; LINDER, C.; DALLASEGA, P. Anthropocentric perspective of production before and within Industry 4.0. **Computers & Industrial Engineering**, v.139, p.105-644, 2020.

RAVINDRANATH, N. H.; BALACHANDRA, P. Sustainable bioenergy for India: Technical, economic and policy analysis. **Energy**, v. 34, n. 8, p. 1003–1013, 2009.

RICCARDO PALMARINI; JOHN AHMET ERKOYUNCU; RAJKUMAR ROY. An Innovate Process to Select Augmented Reality (AR) Technology for Maintenance. **Procedia CIRP**, v.59, p. 23–28, 2017.

RIEGE, A. Three-dozen knowledge-sharing barriers managers must consider. **Journal of Knowledge Management**, 2005, v. 9, n. 3, p. 18–35.

RIDGWAY, K.; CLEGG, C. W.; WILLIAMS, D. J. The Factory of the Future. Future of Manufacturing Project: Evidence Paper 29. **London: Government Office for Science**, 2013.

ROMERO, D.; BERNUS, P.; NORAN, O.; STAHERE, J.; FAST-BERGLUND, Å. The operator 4.0: Human cyber-physical systems and adaptive automation towards human-auto- mation symbiosis work systems. **Advances in production management systems. Initiatives for a sustainable world. APMS 2016. IFIP Advances in Information and Communication Technology**, p. 1–11, 2016.

RÜßMANN, M.; LORENZ, M.; GERBERT, P.; WALDNER, M., JUSTUS, J.; ENGEL, P.; HARNISCH, M. Industry 4.0: the future of productivity and growth in manufacturing industries. **Boston Consulting Group**, 2015.

RYMASZEWSKA, A.; HELO, P.; GUNASEKARAN, A. IoT powered servitization of manufacturing—an exploratory case study. **International Journal of Production Economic**, v.192, p. 92–105, 2017.

SÁBATO, J.A.; BOTANA, N. La ciencia y la tecnología en el desarrollo futuro de America Latina. **El pimsamiento latinoamericano en la problemática ciencia-tecnología-desarrollo**. Buenos Aires, Editorial Paidós, 1975.

SALKIN, C.; ONER, M.; USTUNDAG, A.; CEVIKCAN, E. A Conceptual Framework for Industry 4.0. **Industry 4.0: Managing the Digital Transformation, Springer Series in Advanced Manufacturing**, p.3–23, 2018.

SANDERS, Adam; ELANGESWARAN, Chola; WULFSBERG, Jens P. 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.

SANTANA, A.; AFONSO, P.; ZANIN, A.; WERNKE, R. Costing models for capacity optimization in Industry 4.0: Trade-off between used capacity and operational

efficiency. **Procedia Manufacturing**, v.13, p.1183–1190, 2017.

SARKODIE, S. A.; STREZOV, V. Effect of foreign direct investments, economic development and energy consumption on greenhouse gas emissions in developing countries. **Science of The Total Environment**, v. 646, p. 862–871, 2019.

SASTOQUE, P.; LLORENTE, R.; TOLEDO, G.; DE LACALLE, L. N.; RAMEZANI, F. TRLs 5-7 Advanced Manufacturing Centres, Practical Model to Boost Technology Transfer in Manufacturing. **Sustainability**, v. 11, n. 18, 2019.

SATHAYE, J., BOUILLE, D., BISWAS, D., CRABBE, P., GENG, L., HALL, D., IMURA, H., JAFFE, A., MICHAELIS, L., PESZKO, G., VERBRUGGEN, A., WORRELL, E., YAMBA, F., TOLMASQUIM, M., JANZEN, H. Barriers, opportunities, and market potential of technologies and practices. **Climate Change**, v. 5, p. 345-398, 2001.

SCHMIDT, R.; MÖHRING, M.; HÄRTING, R. C.; REICHSTEIN, C.; NEUMAIER, P.; JOZINOVIĆ, P. Industry 4.0 - Potentials for Creating Smart Products: Empirical Research Results. **Business Information Systems**, p. 16–27, 2015.

SCHNEIDER, P. Managerial challenges of Industry 4.0: an empirically backed research agenda for a nascent field. **Review of Managerial Science**, v. 12, n. 3, p. 803-848, 2018.

SCHNEPP, O. United States–China Technology Transfer, **Prentice-Hall, Englewood Cliffs**, NJ, 1990.

SCHUH, G.; ANDERL, R.; GAUSEMEIER, J.; TEN HOMPEL, M.; WAHLSTER, W. Industrie 4.0 maturity index. Managing the digital transformation of companies. **Munich: Herbert Utz**, 2017.

SCHUH, G.; POTENTE, T.; WESCH-POTENTE, C.; HAUPTVOGEL, A. Sustainable Increase of Overhead Productivity due to Cyber-Physical Systems, 2013.

SCHUMACHER, A.; EROL, S.; SIHN, W. A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. **Procedia CIRP**, v.52, p.161–166, 2016.

SCHUMACHER, A.; EROL, S.; SIHN, W. A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. **Procedia Cirp**, v. 52, n. 1, p. 161-166, 2016.

SCHUMACHER, A.; NEMETH, T.; SIHN, W. Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises. **Procedia Cirp**, v. 79, p. 409-414, 2019.

SCHUMANN, M.; LEYE, S.; POPOV, A. Virtual reality models and digital engineering solutions for technology transfer. **Applied Computer Systems**, v.17, n.1, p.27-33, 2015.

SCREMIN, L.; ARMELLINI, F.; BRUN, A.; SOLAR-PELLETIER, L.; BEAUDRY, C. Towards a Framework for Assessing the Maturity of Manufacturing Companies in Industry 4.0 Adoption. In *Analyzing the Impacts of Industry 4.0 in Modern Business Environments*. **IGI Global**, p. 224-254, 2018.

SECUNDO, G.; DE BEER, C.; PASSIANTE, G. Measuring university technology transfer efficiency: a maturity level approach. **Measuring Business Excellence**, 2016.

SHARP, M.; AK, R.; HEDBERG Jr, T. A Survey of the Advancing use and Development of Machine Learning in Smart Manufacturing. **Journal of Manufacturing Systems**, p.1–10, 2018.

SHELBOURN, M.; HASSAN, T.; CARTER, C. Legal and contractual framework for the VO. **Virtual Organizations, Springer, Boston, MA**, p. 167–176, 2005.

SHI, Q.; LAI, X. Identifying the underpin of green and low carbon technology innovation research: A literature review from 1994 to 2010. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 80, n. 5, p. 839–864, 2013.

SHUJING, Q. The Analysis on Barriers of Low Carbon Technology Transfer. **Energy Procedia**, v. 14, p. 1398-1403, 2012.

SIEGEL, D.S.; WALDMAN, D.; LINK, A. Assessing the impact of organizational practices on the relative productivity of university technology transfer offices: an exploratory study. **Research Policy**, v.32, n.1, p.27–48, 2003.

SIEMIENIUCH, C. E.; SINCLAIR, M. A.; deC HENSHAW, M. J. Global Drivers, Sustainable Manufacturing and Systems Ergonomics. **Applied Ergonomics**, v.51, p.104–119, 2015.

SIERRA, L.; VILLAZUL, S. University-industry linkage and technology transfer management. **Journal of Management Development**, 2018.

SINGH, M.; ABHISHEK, B. Transfer of environmentally sound technologies: identifying the hierarchy and interdependence of barriers. 2013.

SILVA JR, A. C.; ANDRADE, J. C. S.; LEO, E. B. S.; WU, D. D. Sustainable Development and Cleaner Technology in Brazilian Energy CDM Projects: Consideration of Risks. **Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal**, v. 19, n. 5, p. 1338–1358, 2013.

SINHA, M.; JOCHEM, R.; GEERS, D.; HEINZE, P. Maturity measurement of knowledge-intensive business processes. **The TQM Journal**, 2011.

SISINNI, E.; SAIFULLAH, A.; HAN, S.; JENNEHAG, U.; GIDLUND, M. Industrial internet of things: Challenges, opportunities, and directions. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v.14, n.11, p.4724-4734, 2018.

SIVATHANU, B.; PILLAI, R. Smart HR 4.0—how Industry 4.0 is disrupting HR. **Human Resource Management International Digest**, v. 26, n. 4, p. 7-11, 2018.

SJÖDIN, D. R. Smart Factory Implementation and Process Innovation: A Preliminary Maturity Model for Leveraging Digitalization in Manufacturing Moving to smart factories presents specific challenges that can be addressed through a structured approach focused on people, processes, and technologies. **Research-Technology Management**, v. 61, n. 5, p. 22-31, 2018.

SPATH, D.; GERLACH, S.; HÄMMERLE, M.; KRAUSE, T.; SCHLUND, S. Produktionsarbeit Der Zukunft—Industrie 4.0 (Production Work of the Future—Industry 4.0). **Study Fraunhofer-Institut Für Arbeitswirtschaft Und Organisation (IAO)**, p. 451–456, 2013.

STARK, J. Product Lifecycle Management: Paradigm for 21 Century Product Realization. Springer-Verlag, London, UK, 2004.

STOCK, T.; OBENAU, M.; KUNZ, S.; KOHL, H. Industry 4.0 as enabler for a sustainable development: A qualitative assessment of its ecological and social potential. **Process Safety and Environmental Protection**, v.118, p.254-267, 2018.

STOREY, M. A. Theories, Methods and Tools in Program Comprehension: Past, Present and Future. In Program Comprehension, 2005. IWPC 2005. **Proceedings. 13th International Workshop**, p. 181-191, 2005.

STRANGE, R.; ZUCHELLA, A. Industry 4.0 global value chains and international business. **Multinational Business Review**, v.25, n.3, 2017.

SUNG, T. K.; GIBSON, D. V. Knowledge and technology transfer: levels and key factors. **International Conference on Technology Policy and Innovation (ICTPI)**, 2000.

SUNG, T. K. Industry 4.0: a Korea perspective. **Technological forecasting and social change**, v. 132, p. 40-45, 2018.

SYBERFELDT, A.; DANIELSSON, O.; HOLM, M.; WANG, L. Visual Assembling Guidance Using Augmented Reality. **Procedia Manufacturing**, v.1, p.98–109, 2015.

SYBERFELDT, A.; HOLM, M.; DANIELSSON, O.; WANG, L.; BREWSTER, R. L. Support Systems on the Industrial Shop-floor of the Future - Operator's Perspective

on Augmented Reality. **Procedia CIRP**, v.44, p.108–113, 2016.

THAMES, L.; SCHAEFER, D. Industry 4.0: an overview of key benefits, technologies, and challenges. **Thames, L. and Schaefer, D. (Eds), Cybersecurity for Industry 4.0, Springer, Heidelberg**, p. 1-33, 2017.

THOBEN, K.; WIESNER, S.; 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.

THRAMBOULIDIS, K.; CHRISTOULAKIS, F. UML4IoT-A UML-based approach to exploit IoT in cyber-physical manufacturing systems. **Computers in Industry**, v.82, 2016.

TIRTO, T.; OSSIK, Y.; OMELIANENKO, V. ICT Support for Industry 4.0 Innovation Networks: Education and Technology Transfer Issues. In: **Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange**. Springer, Cham, 2019. p. 359-369.

TJAHJONO, B.; ESPLUGUES, C.; ARES, E.; PELAEZ, G. What Does Industry 4.0 Mean to Supply Chain? **Procedia Manufacturing**, v.13, p.1175–1182, 2017.

TOFAIL, S. A. M.; KOUMOULOS, E. P.; BANDYOPADHYAY, A.; BOSE, S.; O'DONOGHUE, L.; CHARITIDIS, C. Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market update and opportunities. **Materials Today**, v.21, n.1, p.22–37, 2018.

TORRES, A.; DUTRÉNIT, G.; SAMPEDRO, J.; BECERRA, N. What are the factors driving university- industry linkages in latecomer firms: evidence from Mexico. **Science and Public Policy**, v. 38, n. 1, p. 31-42, 2011.

TORVANGER, A.; SHRIVASTAVA, M. K.; PANDEY, N.; TØRNBLAD, S. H. A two-track CDM: improved incentives for sustainable development and offset production. **Climate Policy**, v. 13, n. 4, p. 471–489, 2013.

TOURK, K.; MARSH, P. The new industrial revolution and industrial upgrading in China: achievements and challenges. **Economic and Political Studies**, v. 4, n.2, p.187–209, 2016.

TRAPPEY, A. J. C.; TRAPPEY, C. V.; HAREESH GOVINDARAJAN, U.; CHUANG, A. C.; SUN, J. J. A Review of Essential Standards and Patent Landscapes for the Internet of Things: A Key Enabler for Industry 4.0. **Advanced Engineering Informatics**, 2016.

TRENCHER, G.; YARIME, M.; MCCORMICK, K. B.; DOLL, C. N. H.; KRAINES, S. B. Beyond the third mission: Exploring the emerging university function of co-creation for sustainability. **Science and Public Policy**, v. 41, n. 2, p. 151–179, 2013.

- TVARONAVIČIENĖ, M.; ČERNEVIČIŪTĖ, J. Technology transfer phenomenon and its impact on sustainable development. **Journal of Security and Sustainability Issues**. v. 5, p. 87-97, 2015.
- URBAN, F.; SICILIANO, G.; SOUR, K.; LONN, P. D.; TAN-MULLINS, M.; MANG, G. South-South Technology Transfer of Low-Carbon Innovation: Large Chinese Hydropower Dams in Cambodia. **Sustainable Development**, v. 23, n. 4, p. 232–244, 2015.
- VAC, C.S.; FITIU, A. Building sustainable development through technology transfer in a romanian university. **Sustainability**, v. 9, n. 11, p. 2042, 2017.
- VALMOHAMMADI, C. Examining the perception of Iranian organizations on internet of things solutions and applications. **Industrial and Commercial Training**, v.48, n.2, p.104–108, 2016.
- VAN DER GAAST, W.; BEGG, K.; FLAMOS, A. Promoting sustainable energy technology transfers to developing countries through the CDM. **Applied Energy**, v. 86, n. 2, p. 230–236, 2009.
- VAN HOOREBEEK, M. Frederick Cottrell in the 1912 Journal of Industrial and Engineering Chemistry: laying the foundations of university technology transfer. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 43, n. 4, p. 839-846, 2004.
- VERDOLINI, E.; BOSETTI, V. Environmental Policy and the International Diffusion of Cleaner Energy Technologies. **Environmental and Resource Economics**, v. 66, n. 3, p. 497–536, 2017.
- WAGIRE, A. A.; JOSHI, R.; RATHORE, A. P. S.; JAIN, R. Development of maturity model for assessing the implementation of Industry 4.0: learning from theory and practice. **Production Planning & Control**, p. 1-20, 2020.
- WALLACE, E.; RIDDICK, F. Panel on Enabling Smart Manufacturing. **State College**, 2013.
- WAN, J.F.; YI, M.L.; LI, D.; ZHANG, C.H.; WANG, S.Y.; ZHOU, K.L. Mobile services for customization manufacturing systems: an example of Industry 4.0. **IEEE Access**, v.4, 2016.
- WANG L.; TO'RINGREN, M.; ONORI, M. Current status and advance- ment of cyber-physical systems in manufacturing. **Journal of Manufacturing Systems**, v.37, p. 517–527, 2015.
- WANG, S. Y.; WAN, F.; LI, D.; ZHANG, C. H. Implementing smart factory of Industry 4.0: an outlook. **International Journal of Distributed Sensor Networks**. v.12, n.1, 2016.

WANG, Y.; YU, Y.; CHEN, M.; ZHANG, X.; WIEDMANN, H.; FENG, X. Simulating Industry: A Holistic Approach for Bridging the Gap between Engineering Education and Industry. Part I: A Conceptual Framework and Methodology. **International Journal Of Engineering Education**, v.31, n. 1, A, p.165–173, 2015.

WEIGAND J. PrauseM, Industry 4.0 and object-oriented development: incremental and architectural change. **Journal of technology management & innovation**, v.11, n.2, p.104–110, 2016.

WEISS, A.; HUBER, A. User Experience of a Smart Factory Robot: Assembly line workers demand daptative robots. **5th International Symposium on New Frontiers in Human-Robot Interaction**, 2016.

WEYER, S.; SCHMITT, M.; OHMER, M.; GORECKY, D. Towards Industry 4.0-Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. **Ifac-Papersonline**, v. 48, n. 3, p. 579-584, 2015.

WILAMOWSKI, B. Welcome to the IEEE Transactions on Industrial Informatics, a New Journal of the Industrial Electronics Society. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v.1, n.1, p.1–2, 2005.

WITTENBERG, C. Human-CPS interaction – requirements and human-machine interaction methods for the Industry 4.0. **IFAC-Papersonline**, n.49–19, p.420–425, 2016.

WOHLERS, T.; CAFFREY, T. Wohlers Report 2013. Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry, Annual Worldwide Progress Report. **Fort Collins, Colorado, USA: Wohlers Associates, Inc**, 2013.

WOLF, M.; SERPANOS, D. Safety and security of cyber-physical and internet of-things systems. **Proceedings of the IEEE**, v.105, n.6, 2017.

WONG, K.S.; KIM, M.H. Privacy protection for data-driven smart manufac- turing system. **International Journal of Web Services Research**, v.4, n.3, 2017.

WORRELL, Ernst. Technology transfer of energy efficient technologies in industry: a review of trends and policy issues. **Energy Policy**, v. 29, n. 1, p. 29-43, 2001.

WU, W.; LEE, Y. Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method. **Expert systems with applications**, v.32, n.2, p.499-507, 2007.

XU, J.; HUANG, E.; HSIEH, L.; LEE, L. H.; JIA, Q. S.; CHEN, C. H. Simulation optimization in the era of Industrial 4.0 and the Industrial Internet. **Journal of Simulation**, v.10, n.4, p.310–320, 2016.

XU, L. D.; HE, W.; LI, S. Internet of Things in Industries: A Survey. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v.10, n.4, p.2233–2243, 2014.

XU, L. Enterprise Integration and Information Architecture. **New York: CRC Press**, 2015.

XU, L.; CAI, L.; ZHAO, S.; GE., B. Editorial: Inaugural Issue. **Journal of Industrial Integration and Management**, v.01, n.01, 2016.

XU, L.; XU, E. L.; LI, L. Industry 4.0: state of the art and future trends. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2941-2962, 2018.

YAN, J.; XIN, S.; LIU, Q.; XU, W.; YANG, L.; FAN, L.; WANG, Q. Intelligent supply chain integration and management based on cloud of things. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v.10, n.3, p.624839, 2014.

YAN, Z.; ZHANG, P.; VASILAKOS, A. V. A survey on trust management for internet of things. **Journal of network and computer applications**, v.42, p.120–134, 2014.

YANG, C.; LAN, S.L.; SHEN, W.M.; HUANG, G.Q.; WANG, X.B.; LIN, T.Y. Towards product customization and personalization in IoT-enabled cloud manufacturing. **Cluster Computing**, v.20, n.2, 2017.

YOUNG, R. I. M.; GUNENDRAN, A. G.; CUTTING-DECELLE, A. F.; GRUNINGER, M. Manufacturing Knowledge Sharing in PLM: A Progression towards the Use of Heavy Weight Ontologies. **International Journal of Production Research**, v.45, n.7, p.1505–1519, 2007.

YU, Z.; OUYANG, J.; LI, S.; PENG, X. Formal modeling and control of cyber-physical manufacturing systems. **Advances in Mechanical Engineering**, v.9, n.10, 2017.

YUAN, Z.H.; QIN, W.Z.; ZHAO, J.S. Smart manufacturing for the oil refining and petrochemical industry. **Engineering** 3, n.2, 2017.

YUE, X.; CAI, H.; YAN, H.; ZOU, C.; ZHOU, K. Cloud-Assisted Industrial Cyber-Physical Systems: An Insight. **Microprocessors and Microsystems**, v.39, p.1262–1270, 2015.

YUN, J. J.; JEONG, E.; LEE, Y.; KIM, K. The effect of open innovation on technology value and technology transfer: A comparative analysis of the automotive, robotics, and aviation industries of Korea. **Sustainability**, v.10, n.7, p.2459, 2018.

Yun, J. J., Liu, Z. Micro- and macro-dynamics of open innovation with a Quadruple-Helix model. **Sustainability**, v.11, n.12, 2019.

ZANGIACOMI, A.; SACCO, M.; PESSOT, E.; DE ZAN, A.; BERTETTI, M. A Perspective for the Implementation of a Path Towards the Factory of the Future: The Italian Case. **2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)**, p. 1-9, 2018.

ZAWADZKI, P.; ZYWICKI, K. Smart product design and production control for effective mass customization in the Industry 4.0 concept. **Management and Production Engineering Review**, v.7, n.3, 2016.

ZHENG, X.; MARTIN, P.; BROHMAN, K.; XU, L. Cloud Service Negotiation in Internet of Things Environment: A Mixed Approach. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v.10, n.2, p.1506–1515, 2014.

ZHONG, Y. R.; CHEN XU; CHAO CHEN; GEORGE, Q. HUANG. Big Data Analytics for Physical Internet-based Intelligent Manufacturing Shop Floors. **International Journal of Production Research**, 2017.

**APÊNDICE A – ETAPAS DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMATIZADA (RBS)**

## ETAPAS DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMATIZADA (RBS)

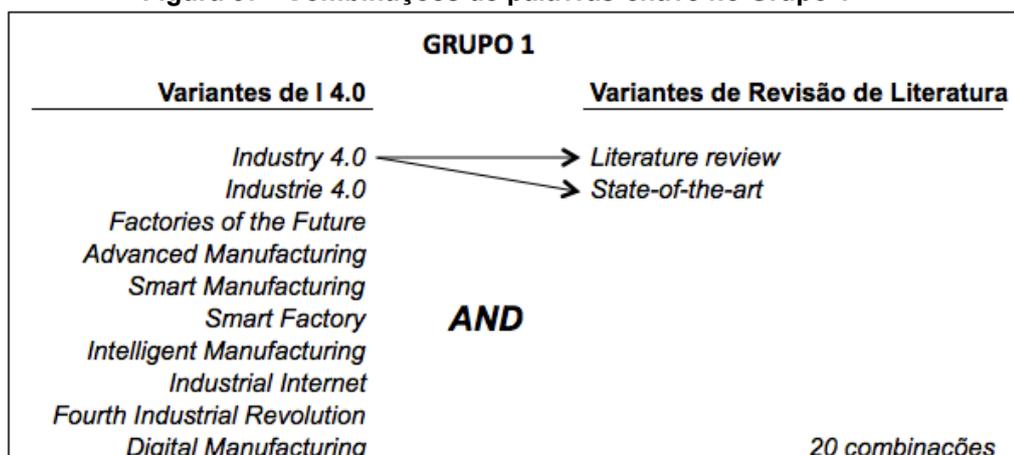
**Etapa 1 – Determinar a intenção da Pesquisa:** A utilização desta metodologia de revisão sistemática tem o objetivo de auxiliar na análise da influência entre Transferência de Tecnologia e Indústria 4.0. Sendo assim, essa foi a intenção da pesquisa deste tópico contido dentro desta metodologia.

**Etapa 2 – Pesquisa exploratória preliminar com palavras-chave:** Na segunda etapa, foi realizada uma pesquisa preliminar com palavras-chave que se adequavam ao estudo em dois principais eixos: “industry 4.0” e “technology transfer” nas bases de dados *Scopus*, *Science Direct* e *Web of Science*. Essas três bases de dados foram selecionadas devido a retornarem um montante de artigos com fator de impacto relevante.

**Etapa 3 – Definição e combinação das palavras-chave:** Como o objetivo desse trabalho é analisar a influência entre TT e I4.0, foi percebido na Etapa 2 que para ter uma base de estudos consistente, é necessário dividir essa busca entre 8 grupos, de acordo com seus assuntos principais e palavras-chave. Além disso, os termos “Indústria 4.0” e “Transferência de Tecnologia”, possuem diversas variantes, que devem estar todas presentes nas buscas. A seguir, são apresentadas as combinações de palavras-chave em cada um dos grupos.

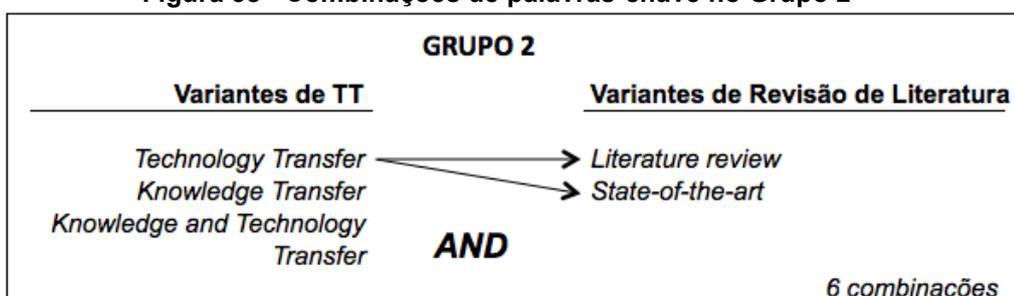
O Grupo 1 tem como objetivo identificar as principais características da Indústria 4.0, os fatores mais importantes e tudo o que está sendo estudado. Ou seja, identificar seu estado-da-arte. Se a busca fosse feita somente com as variantes de I4.0, a quantidade de artigos seria muito alta (35818 artigos), fator que impossibilitaria a leitura de todos eles. Por esse motivo, foi utilizada a combinação das variantes de I4.0 juntamente com as variantes de revisão de literatura. Dessa maneira, os artigos encontrados apresentam os enfoques principais que a literatura vem trazendo nesse tema. A Figura 37 apresenta essa combinação do Grupo 1. Da mesma maneira, é necessário identificar o estado-da-arte de Transferência de Tecnologia. Assim como em I4.0, a mesma estratégia de busca foi utilizada. Essa combinação é apresentada na Figura 38.

Figura 37 - Combinações de palavras-chave no Grupo 1



Fonte: Autor (2021)

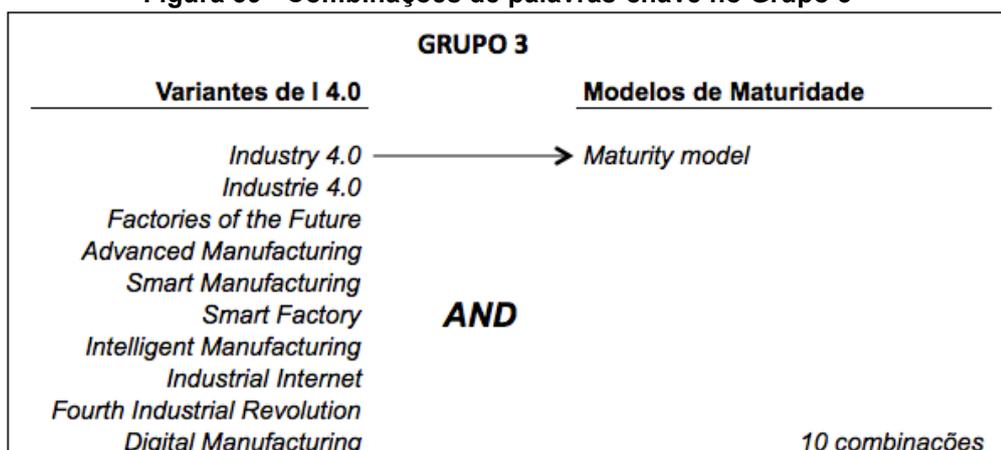
Figura 38 - Combinações de palavras-chave no Grupo 2



Fonte: Autor (2021)

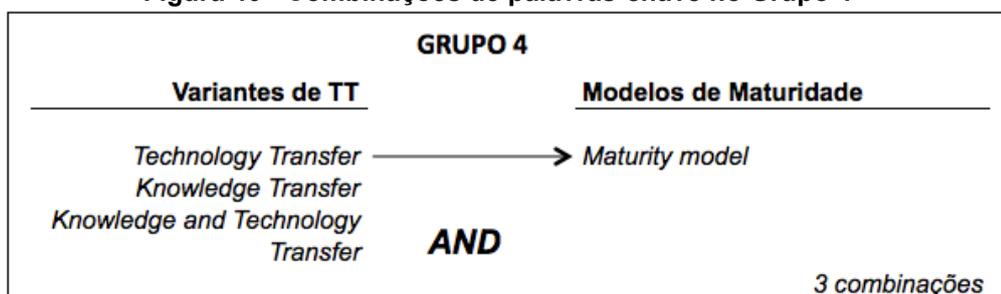
Como será realizado um modelo de maturidade neste estudo, é necessário ter o conhecimento de todos os modelos de maturidade existentes na literatura de I4.0, e também os de TT. Para isso, o Grupo 3 apresenta a combinação das variantes de I4.0 juntamente com o termo “Modelo de Maturidade” (Figura 39), e o Grupo 4 apresenta a combinação das variantes de TT com “Modelo de Maturidade” (Figura 40).

Figura 39 - Combinações de palavras-chave no Grupo 3



Fonte: Autor (2021)

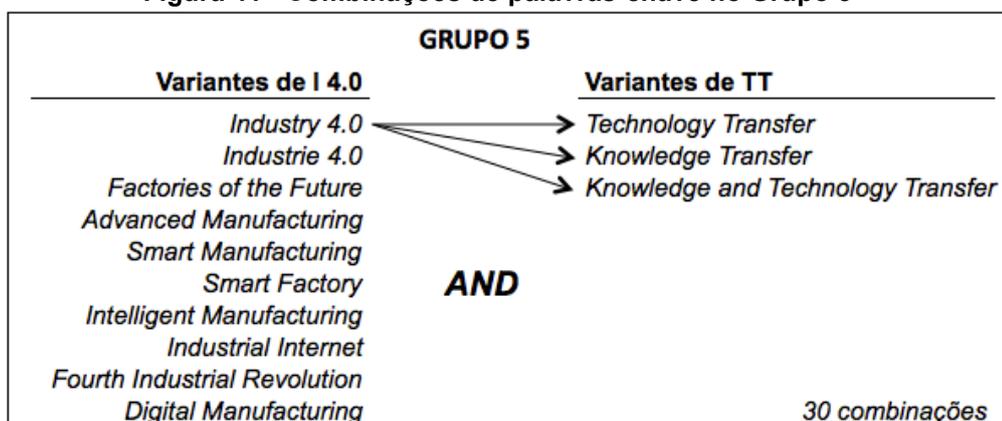
Figura 40 - Combinações de palavras-chave no Grupo 4



Fonte: Autor (2021)

Esse trabalho tem como foco principal a relação de dois fatores: Indústria 4.0 e Transferência de Tecnologia. Sendo assim, o Grupo 5 (Figura 41) apresenta a combinação de todas as variantes de I4.0 com as variantes de TT. Dessa maneira, é possível analisar todos os artigos que estudam esses dois fatores em conjunto.

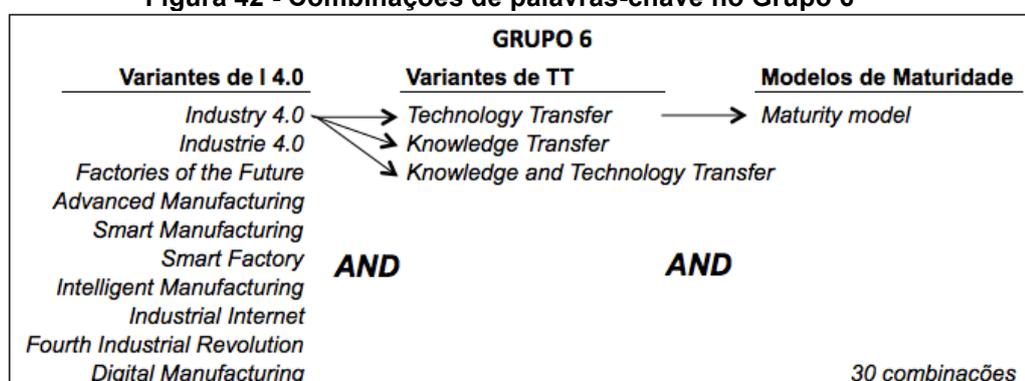
Figura 41 - Combinações de palavras-chave no Grupo 5



Fonte: Autor (2021)

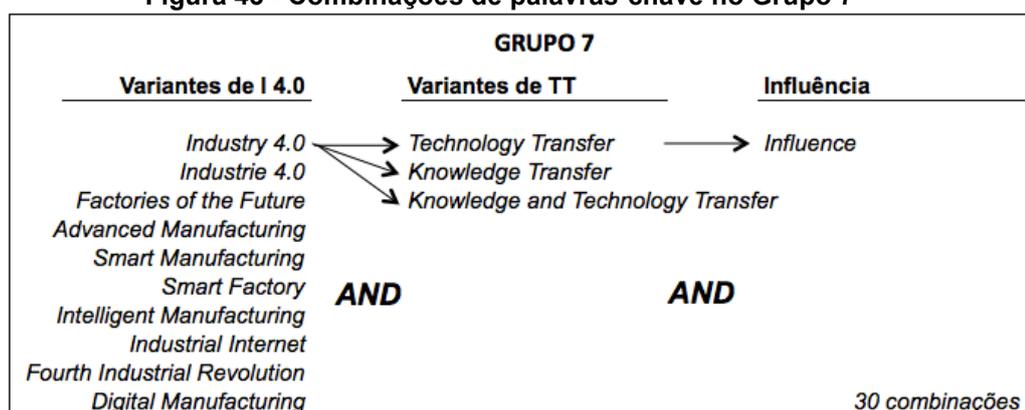
Como o objetivo principal desse trabalho é desenvolver um modelo de maturidade de TT e I4.0, e assim analisar a influência desses dois fatores, foi necessário buscar na literatura se já existem trabalhos com esse enfoque. O Grupo 6 apresenta a combinação das variantes de I4.0, com as variantes de TT e com o termo “Modelo de Maturidade” (Figura 42). O Grupo 7 apresenta as variantes de I4.0, com as variantes de TT e com o termo “Influência” (Figura 43). Já o Grupo 8 reuni todas as palavras-chaves desse trabalho: as variantes de I4.0 e TT, juntamente com os termos “Modelo de Maturidade” e “Influência” (Figura 44).

**Figura 42 - Combinações de palavras-chave no Grupo 6**



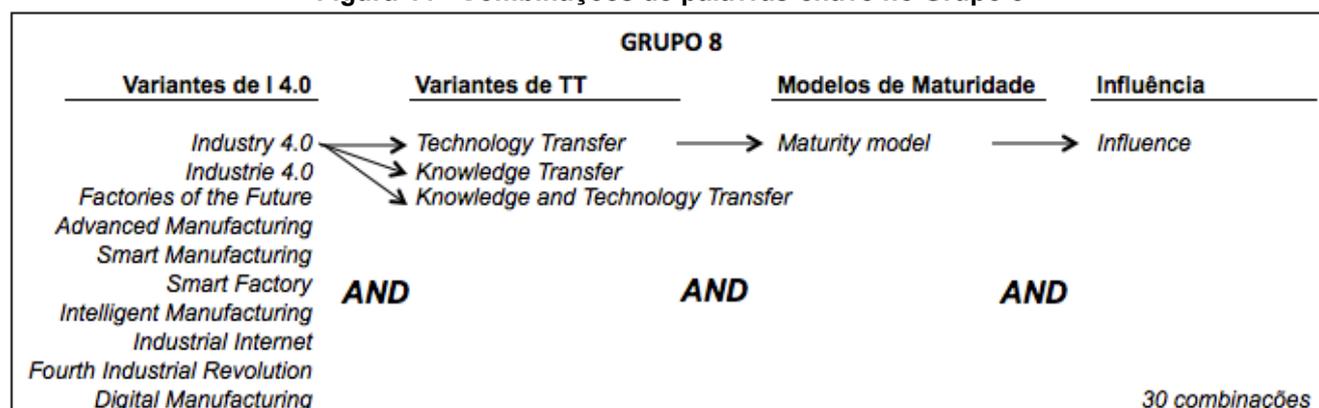
Fonte: Autor (2021)

**Figura 43 - Combinações de palavras-chave no Grupo 7**



Fonte: Autor (2021)

Figura 44 - Combinações de palavras-chave no Grupo 8



Fonte: Autor (2021)

Ao todo foram realizadas 159 combinações de palavras-chave nessa pesquisa, em cada uma das três bases de dados.

**Etapa 4 – Pesquisa final nas bases de dados:** A pesquisa final foi realizada através das combinações de palavras-chave descritas na etapa anterior nas bases de dados *Web of Science*, *Science Direct* e *Scopus*, para encontrar um número bruto de artigos. Foi utilizado um recorte temporal de 21 anos: jan/2000 < abril/2021. De forma resumida, na Tabela 5 é apresentado o resultado inicial deste levantamento.

Tabela 5 - Número de artigos encontrados em cada grupo

Grupos	Palavras-chave	Scopus	Science Direct	Web of Science	Total
Grupo 1	("Industry 4.0" OR "Industrie 4.0" OR "Factories of the Future" OR "Advanced Manufacturing" OR "Smart Manufacturing" OR "Smart Factory" OR "Intelligent Manufacturing" OR "Industrial Internet" OR "Fourth Industrial Revolution" OR "Digital Manufacturing") AND ("Literature Review" OR "State-of-the-art")	1032	593	565	<b>2190</b>
Grupo 2	("Technology Transfer" OR "Knowledge Transfer" OR "Knowledge and Technology Transfer") AND ("Literature Review" OR "State-of-the-art")	719	167	386	<b>1272</b>
Grupo 3	("Industry 4.0" OR "Industrie 4.0" OR "Factories of the Future" OR "Advanced Manufacturing" OR "Smart Manufacturing" OR "Smart Factory" OR "Intelligent Manufacturing" OR "Industrial Internet" OR "Fourth Industrial Revolution" OR "Digital Manufacturing") AND ("Maturity Model")	74	52	61	<b>187</b>
Grupo 4	("Technology Transfer" OR "Knowledge Transfer" OR "Knowledge and Technology Transfer") AND ("Maturity Model")	16	1	11	<b>28</b>
Grupo 5	("Industry 4.0" OR "Industrie 4.0" OR "Factories of the Future" OR "Advanced Manufacturing" OR "Smart Manufacturing" OR "Smart Factory" OR "Intelligent Manufacturing" OR "Industrial Internet" OR "Fourth Industrial Revolution" OR "Digital Manufacturing") AND ("Technology Transfer" OR "Knowledge Transfer" OR "Knowledge and Technology Transfer")	192	21	40	<b>253</b>
Grupo 6	("Industry 4.0" OR "Industrie 4.0" OR "Factories of the Future" OR "Advanced Manufacturing" OR "Smart Manufacturing" OR "Smart Factory" OR "Intelligent Manufacturing" OR "Industrial Internet" OR "Fourth Industrial Revolution" OR "Digital Manufacturing")	0	0	1	<b>1</b>

Grupo 7	Industrial Revolution" OR "Digital Manufacturing") AND ("Technology Transfer" OR "Knowledge Transfer" OR "Knowledge and Technology Transfer") AND ("Maturity Model") ("Industry 4.0" OR "Industrie 4.0" OR "Factories of the Future" OR "Advanced Manufacturing" OR "Smart Manufacturing" OR "Smart Factory" OR "Intelligent Manufacturing" OR "Industrial Internet" OR "Fourth Industrial Revolution" OR "Digital Manufacturing") AND ("Technology Transfer" OR "Knowledge Transfer" OR "Knowledge and Technology Transfer") AND ("Influence") ("Industry 4.0" OR "Industrie 4.0" OR "Factories of the Future" OR "Advanced Manufacturing" OR "Smart Manufacturing" OR "Smart Factory" OR "Intelligent Manufacturing" OR "Industrial Internet" OR "Fourth Industrial Revolution" OR "Digital Manufacturing") AND ("Technology Transfer" OR "Knowledge Transfer" OR "Knowledge and Technology Transfer") AND ("Maturity Model") AND ("Influence")	1	1	1	3
Grupo 8	Industrial Revolution" OR "Digital Manufacturing") AND ("Technology Transfer" OR "Knowledge Transfer" OR "Knowledge and Technology Transfer") AND ("Maturity Model") AND ("Influence")	0	0	0	0

Fonte: Autor (2021)

Portanto, foi levantado um total bruto de 3934 artigos para realizar o estudo em questão. As informações desses artigos extraídas em formato *BibTex* foram então levadas ao *software* de gerenciamento de referências *Mendeley Desktop*®, onde o processo de filtragem foi iniciado.

**Etapa 5 – Processos de filtragem:** O número bruto de artigos foi então filtrado seguindo os seguintes critérios: “Exclusão de duplicatas”, “Exclusão de livros e capítulos de livros”, “Exclusão pela leitura dos títulos” e “Exclusão pela leitura do resumo”. Os artigos de conferência não foram excluídos devido ao assunto ser recente e estes tipos de artigos poderem possuir conteúdos relevantes para a pesquisa.

Na filtragem pelo critério de “Exclusão de duplicatas”, através de uma ferramenta disponível no *software Mendeley Desktop*®, o número bruto de artigos foi reduzido para 2012 artigos. Estes artigos, agora sem duplicatas, foram filtrados pela “Exclusão de livros e capítulos de livros” e “Exclusão pela leitura dos títulos” levando ao número final do portfólio preliminar de 619 artigos. O resultado dessas filtragens pode ser melhor visualizada na Tabela 6.

**Tabela 6 - Número de artigos em cada grupo com as etapas de filtragem**

<b>Grupos</b>	<b>Sem duplicatas</b>	<b>Artigos relevantes</b> (exclusão de livros e exclusão pela leitura de títulos e resumos)
Grupo 1 - Indústria 4.0	860	290
Grupo 2 - Transferência de Tecnologia	812	237
Grupo 3 - Modelos de Maturidade e Indústria 4.0	98	34
Grupo 4 - Modelos de Maturidade e Transferência de Tecnologia	21	7
Grupo 5 - Indústria 4.0 e Transferência de Tecnologia	218	48
Grupo 6 - Indústria 4.0, Transferência de Tecnologia e Modelos de Maturidade	1	1
Grupo 7 - Indústria 4.0, Transferência de Tecnologia e Influência	2	0
Grupo 8 - Indústria 4.0, Transferência de Tecnologia, Modelos de Maturidade e Influência	0	0

**Fonte: Autor (2021)**

Assim, os 619 artigos do portfólio preliminar foram extraídos do gerenciador de referências e lavados à planilha eletrônica para que pudessem ser tabelados e analisados na etapa posterior.

**Etapa 6 – Identificação do ano de publicação, fator de impacto e número de citações:** Nesta etapa, foram extraídas as informações dos 619 artigos do portfólio preliminar necessárias para a realização da Etapa 7. O ano de publicação já estava contido nos arquivos quando extraídos em formato *BibTex* na Etapa 4. O fator de impacto foi consultado através da relação disponível no *site* da *Clarivate Analytics* e o número de citações de cada artigo foi adquirido através do *Google Scholar*.

**Etapa 7 – Ordenação dos artigos segundo o *InOrdinatio*:** Esta etapa de ordenação dos artigos proposta na metodologia, é realizada através do cálculo do índice *InOrdinatio* através da seguinte equação (1).

$$InOrdinato = (IF/1000) + \alpha * [10 - (Research Year - Publish Year)] + (\sum Ci)$$

*(Equação 01)*

Onde, IF: Fator de impacto do periódico;  $\alpha$ : Coeficiente definido pelo pesquisador; *Research Year*: Ano em que a pesquisa foi realizada; *Publish Year*: Ano de publicação do artigo; Ci: Número de citações do artigo em outros trabalhos.

O Valor de  $\alpha$  é atribuído pelo pesquisador podendo variar entre 1 e 10. Quanto mais próximo de 1, menor será a importância que o pesquisador atribui ao ano de publicação dos artigos, e quanto mais próximo de 10 maior será o peso do ano de publicação no cálculo. Nesta pesquisa foi atribuído o valor 6, por ser um critério importante, porém não primordial.

Foram excluídos do portfólio os artigos em que o *InOrdinato* se apresentou negativo. Posteriormente todos esses trabalhos foram analisados através de seus títulos e resumos para ver sua relevância com a presente pesquisa, para finalmente esses artigos serem estudados.

Um total de 314 artigos foram selecionados para serem analisados e utilizados como “matéria-prima” na referida pesquisa. A Tabela 7 apresenta a quantidade de artigos referente a cada grupo.

**Tabela 5 - Quantidade de artigos em cada grupo**

<b>Grupos</b>	<b>Quantidade de artigos</b>
Grupo 1 - Indústria 4.0	107
Grupo 2 - Transferência de Tecnologia	139
Grupo 3 - Modelos de Maturidade e Indústria 4.0	34
Grupo 4 - Modelos de Maturidade e Transferência de Tecnologia	7
Grupo 5 - Indústria 4.0 e Transferência de Tecnologia	27
Grupo 6 - Indústria 4.0, Transferência de Tecnologia e Modelos de Maturidade	0
Grupo 7 - Indústria 4.0, Transferência de Tecnologia e Influência	0
Grupo 8 - Indústria 4.0, Transferência de Tecnologia, Modelos de Maturidade e Influência	0

**Fonte: Autor (2021)**

**Etapa 8 – Obtenção dos artigos por completo:** Os 314 artigos foram adquiridos na íntegra para que pudessem ser analisados na Etapa 9.

**Etapa 9 – Leitura final e análise dos artigos:** Os 314 artigos finais foram estudados primeiramente em uma análise bibliométrica. Esta análise foi realizada a partir dos dados encontrados nos artigos. Posteriormente foi realizada uma leitura desses artigos para extrair informações necessárias para a composição desse trabalho. Assim, foi realizada uma análise de conteúdo para atingir aos objetivos da pesquisa.

**APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO 1**

**Questionário 1 – Nível de Influência entre as dimensões de I4.0 e TT**

- 1) Quanto a Interface Homem-Máquina influencia os Recursos Humanos?  
 0       1       2       3       4
- 2) Quanto o Processo de TT influencia os Recursos Humanos?  
 0       1       2       3       4
- 3) Quanto o Processo de I4.0 influencia os Recursos Humanos?  
 0       1       2       3       4
- 4) Quanto a Disseminação do Conhecimento influencia os Recursos Humanos?  
 0       1       2       3       4
- 5) Quanto as Tecnologias 4.0 influenciam os Recursos Humanos?  
 0       1       2       3       4
- 6) Quanto a Cultura Organizacional influencia os Recursos Humanos?  
 0       1       2       3       4
- 7) Quanto os Modelos de Negócios influenciam os Recursos Humanos?  
 0       1       2       3       4
- 8) Quanto os Modos de TT influenciam os Recursos Humanos?  
 0       1       2       3       4
- 9) Quanto a Integração de Sistemas influencia os Recursos Humanos?  
 0       1       2       3       4
- 10) Quanto os Recursos Humanos influenciam a Interface Homem-Máquina?  
 0       1       2       3       4
- 11) Quanto o Processo de TT influencia a Interface Homem-Máquina?  
 0       1       2       3       4
- 12) Quanto o Processo de I4.0 influencia a Interface Homem-Máquina?  
 0       1       2       3       4
- 13) Quanto a Disseminação do Conhecimento influencia a Interface Homem-Máquina?  
 0       1       2       3       4
- 14) Quanto as Tecnologias 4.0 influenciam a Interface Homem-Máquina?  
 0       1       2       3       4
- 15) Quanto a Cultura Organizacional influencia a Interface Homem-Máquina?  
 0       1       2       3       4
- 16) Quanto os Modelos de Negócios influenciam a Interface Homem-Máquina?  
 0       1       2       3       4
- 17) Quanto os Modos de TT influenciam a Interface Homem-Máquina?

0       1       2       3       4

18) Quanto a Integração de Sistemas influencia a Interface Homem-Máquina?

0       1       2       3       4

19) Quanto os Recursos Humanos influenciam o Processo de TT?

0       1       2       3       4

20) Quanto a Interface Homem-Máquina influencia o Processo de TT?

0       1       2       3       4

21) Quanto o Processo de I4.0 influencia o Processo de TT?

0       1       2       3       4

22) Quanto a Disseminação do Conhecimento influencia o Processo de TT?

0       1       2       3       4

23) Quanto as Tecnologias 4.0 influenciam o Processo de TT?

0       1       2       3       4

24) Quanto a Cultura Organizacional influencia o Processo de TT?

0       1       2       3       4

25) Quanto os Modelos de Negócios influenciam o Processo de TT?

0       1       2       3       4

26) Quanto os Modos de TT influenciam o Processo de TT?

0       1       2       3       4

27) Quanto a Integração de Sistemas influencia o Processo de TT?

0       1       2       3       4

28) Quanto os Recursos Humanos influenciam o Processo de I4.0?

0       1       2       3       4

29) Quanto a Interface Homem-Máquina influencia o Processo de I4.0?

0       1       2       3       4

30) Quanto o Processo de TT influencia o Processo de I4.0?

0       1       2       3       4

31) Quanto a Disseminação do Conhecimento influencia o Processo de I4.0?

0       1       2       3       4

32) Quanto as Tecnologias 4.0 influenciam o Processo de I4.0?

0       1       2       3       4

33) Quanto a Cultura Organizacional influencia o Processo de I4.0?

0       1       2       3       4

34) Quanto os Modelos de Negócios influenciam o Processo de I4.0?

0       1       2       3       4

- 35) Quanto os Modos de TT influenciam o Processo de I4.0?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 36) Quanto a Integração de Sistemas influencia o Processo de I4.0?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 37) Quanto os Recursos Humanos influenciam a Disseminação do Conhecimento?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 38) Quanto a Interface Homem-Máquina influencia a Disseminação do Conhecimento?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 39) Quanto o Processo de TT influencia a Disseminação do Conhecimento?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 40) Quanto o Processo de I4.0 influencia a Disseminação do Conhecimento?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 41) Quanto as Tecnologias 4.0 influenciam a Disseminação do Conhecimento?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 42) Quanto a Cultura Organizacional influencia a Disseminação do Conhecimento?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 43) Quanto os Modelos de Negócios influenciam a Disseminação do Conhecimento?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 44) Quanto os Modos de TT influenciam a Disseminação do Conhecimento?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 45) Quanto a Integração de Sistemas influencia a Disseminação do Conhecimento?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 46) Quanto os Recursos Humanos influenciam as Tecnologias 4.0?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 47) Quanto a Interface Homem-Máquina influencia as Tecnologias 4.0?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 48) Quanto o Processo de TT influencia as Tecnologias 4.0?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 49) Quanto o Processo de I4.0 influencia as Tecnologias 4.0?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 50) Quanto a Disseminação do Conhecimento influencia as Tecnologias 4.0?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 51) Quanto a Cultura Organizacional influencia as Tecnologias 4.0?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 52) Quanto os Modelos de Negócios influenciam as Tecnologias 4.0?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4

- 53) Quanto os Modos de TT influenciam as Tecnologias 4.0?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 54) Quanto a Integração de Sistemas influencia as Tecnologias 4.0?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 55) Quanto os Recursos Humanos influenciam a Cultura Organizacional?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 56) Quanto a Interface Homem-Máquina influencia a Cultura Organizacional?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 57) Quanto o Processo de TT influencia a Cultura Organizacional?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 58) Quanto o Processo de I4.0 influencia a Cultura Organizacional?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 59) Quanto a Disseminação do Conhecimento influencia a Cultura Organizacional?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 60) Quanto as Tecnologias 4.0 influenciam a Cultura Organizacional?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 61) Quanto os Modelos de Negócios influenciam a Cultura Organizacional?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 62) Quanto os Modos de TT influenciam a Cultura Organizacional?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 63) Quanto a Integração de Sistemas influencia a Cultura Organizacional?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 64) Quanto os Recursos Humanos influenciam os Modelos de Negócios?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 65) Quanto a Interface Homem-Máquina influencia os Modelos de Negócios?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 66) Quanto o Processo de TT influencia os Modelos de Negócios?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 67) Quanto o Processo de I4.0 influencia os Modelos de Negócios?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 68) Quanto a Disseminação do Conhecimento influencia os Modelos de Negócios?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 69) Quanto as Tecnologias 4.0 influenciam os Modelos de Negócios?  
( ) 0            ( ) 1            ( ) 2            ( ) 3            ( ) 4
- 70) Quanto a Cultura Organizacional influencia os Modelos de Negócios?

0             1             2             3             4

71) Quanto os Modos de TT influenciam os Modelos de Negócios?

0             1             2             3             4

72) Quanto a Integração de Sistemas influencia os Modelos de Negócios?

0             1             2             3             4

73) Quanto os Recursos Humanos influenciam os Modos de TT?

0             1             2             3             4

74) Quanto a Interface Homem-Máquina influencia os Modos de TT?

0             1             2             3             4

75) Quanto o Processo de TT influencia os Modos de TT?

0             1             2             3             4

76) Quanto o Processo de I4.0 influencia os Modos de TT?

0             1             2             3             4

77) Quanto a Disseminação do Conhecimento influencia os Modos de TT?

0             1             2             3             4

78) Quanto as Tecnologias 4.0 influenciam os Modos de TT?

0             1             2             3             4

79) Quanto a Cultura Organizacional influencia os Modos de TT?

0             1             2             3             4

80) Quanto os Modelos de Negócios influenciam os Modos de TT?

0             1             2             3             4

81) Quanto a Integração de Sistemas influencia os Modos de TT?

0             1             2             3             4

82) Quanto os Recursos Humanos influenciam a Integração de Sistemas?

0             1             2             3             4

83) Quanto a Interface Homem-Máquina influencia a Integração de Sistemas?

0             1             2             3             4

84) Quanto o Processo de TT influencia a Integração de Sistemas?

0             1             2             3             4

85) Quanto o Processo de I4.0 influencia a Integração de Sistemas?

0             1             2             3             4

86) Quanto a Disseminação do Conhecimento influencia a Integração de Sistemas?

0             1             2             3             4

87) Quanto as Tecnologias 4.0 influenciam a Integração de Sistemas?

0             1             2             3             4

88) Quanto a Cultura Organizacional influencia a Integração de Sistemas?

0             1             2             3             4

89) Quanto os Modelos de Negócios influenciam a Integração de Sistemas?

0             1             2             3             4

90) Quanto os Modos de TT influenciam a Integração de Sistemas?

0             1             2             3             4

**APÊNDICE C – Questionário 2**

## Questionário 2 - Nível de Maturidade I4.0 e TT

Caso tenha interesse em receber o diagnóstico do nível de maturidade em I4.0 de sua empresa, e ações que poderiam ser realizadas para atingir um maior nível, por favor deixe aqui seu e-mail: \_\_\_\_\_

1. Como os colaboradores são treinados para suas respectivas funções?

- Não ocorre treinamento.
- Os colaboradores são treinados somente para sua respectiva função.
- Os níveis hierárquicos mais altos aprendem sua função, e também todo o funcionamento da organização. Os demais colaboradores, são treinados somente para sua respectiva função.
- Todos os colaboradores aprendem sua função, e também todo o funcionamento da organização.
- Os treinamentos são feitos com o auxílio de tecnologias, como realidade aumentada. Todos os colaboradores aprendem sua função, e também todo o funcionamento da organização.

2. Há intercâmbio de profissionais e/ou pesquisadores na empresa?

- Não ocorre.
- Muito raramente.
- Ocorre em alguns setores.
- Ocorre com frequência em mais da metade dos setores.
- Ocorre com muita frequência, em todos os setores.

3. Os colaboradores possuem as habilidades técnicas e gerenciais requeridas para implementar as ações da Indústria 4.0?

- Não.
- Muito pouco. Somente cargos específicos.
- Possuem em média escala, somente alguns setores.
- Possuem em mais da metade dos setores.
- Todos os colaboradores possuem.

4. Existe uma interdisciplinaridade nos grupos de trabalho?

- Não.
- Muito raramente.
- Existe em alguns setores.
- Existe em mais da metade dos setores.
- Existe em todos os grupos de todos os setores.

5. A organização realiza as capacitações necessárias para a aquisição de habilidades técnicas e gerenciais relacionadas aos conceitos e tecnologias da Indústria 4.0?

- Não possui.
- Está em fase inicial de implementação.
- Possui parcialmente em alguns setores.

- ( ) Possui em mais da metade dos setores.  
( ) Todos os colaboradores estão sendo capacitados sobre I4.0.
6. Os colaboradores possuem autonomia e liberdade para criação?  
( ) Não.  
( ) Muito pouco. Somente a alta gerência.  
( ) Possui parcialmente em alguns setores.  
( ) Possui em mais da metade dos setores.  
( ) Todos os colaboradores estão sendo capacitados sobre I4.0.
7. Os colaboradores dominam e possuem todo o conhecimento necessário na tecnologia que utilizam?  
( ) Não.  
( ) Dominam somente o básico.  
( ) Uma pequena escala dos colaboradores dominam totalmente as tecnologias que utilizam.  
( ) Mais da metade dos colaboradores dominam totalmente as tecnologias que utilizam.  
( ) Todos os colaboradores dominam totalmente as tecnologias que utilizam.
8. Os colaboradores estão abertos à novas tecnologias?  
( ) Não.  
( ) Muito raramente.  
( ) Somente em alguns setores.  
( ) Mais da metade dos colaboradores estão abertos à novas tecnologias, independente de seu nível hierárquico.  
( ) Todos os colaboradores estão abertos à novas tecnologias.
9. Há um setor específico de P&D dentro da empresa?  
( ) Não.  
( ) Existe somente em unidades fora do Brasil.  
( ) Existe somente na matriz brasileira.  
( ) Está em fase inicial de implementação em todas as unidades.  
( ) Sim. Todas as unidades da empresa possuem um setor de P&D.
10. A empresa adquire tecnologias e/ou recursos de terceiros?  
( ) Não.  
( ) Muito raramente.  
( ) Ocorre em pequena escala.  
( ) Ocorre com frequência.  
( ) Ocorre com muita frequência.
11. A empresa possui facilitadores de TT (como consultores, escritórios de transferência de tecnologia, agências de desenvolvimento...)?  
( ) Não.  
( ) Muito raramente.  
( ) Possui em alguns casos.  
( ) Possui muitas vezes.  
( ) Sempre. Possui contratos com facilitadores de TT.
12. A empresa transfere tecnologias para outras empresas / instituições?  
( ) Não.  
( ) Muito raramente.

- Ocorre em pequena escala.
- Ocorre com frequência.
- Ocorre com muita frequência.

13. A empresa possui flexibilidade em produzir produtos altamente personalizados?

- Não.
- Está em fase inicial de implementação.
- Possui parcialmente em alguns produtos específicos.
- Possui mais da metade da estrutura física já implementada para atender as necessidades do cliente.
- Possui totalmente. A indústria consegue atender a demanda personalizada conforme o pedido do cliente

14. Qual o nível de automatização dos processos na área de produção/transformação da empresa?

- De 0 a 20% dos processos são totalmente automatizados.
- De 20 a 40% dos processos são totalmente automatizados.
- De 40 a 60% dos processos são totalmente automatizados.
- De 60 a 80% dos processos são totalmente automatizados.
- De 80 a 100% dos processos são totalmente automatizados.

15. A empresa possui um sistema integrado de sensores em todo processo produtivo?

- Não possui.
- Está em fase inicial de implementação.
- Possui parcialmente em alguns setores.
- Possui em mais da metade dos setores.
- Possui totalmente na indústria.

16. Os processos industriais como M2M realizam trocas de informações integradas em tempo real?

- Não realizam.
- Está em fase inicial de implementação.
- Somente em alguns setores.
- Em mais da metade dos setores.
- Realizam trocas de informações em tempo real em toda a empresa.

17. As linhas de produção são adaptáveis?

- Não.
- Fase inicial quanto a instalação da linha de produção adaptável.
- Somente em algumas linhas de produção
- São adaptáveis em mais da metade das linhas de produção.
- São totalmente adaptáveis, sendo automáticas e flexíveis para eventos inesperados.

18. Existem sistemas de controle que monitoram as condições de trabalho das máquinas de fabricação?

- Não.
- Está em fase inicial de implementação.
- Somente em alguns setores / máquinas.

- Existe em mais da metade dos setores / máquinas.
- Existe para todas as máquinas de fabricação de todos os setores.

19. A Indústria realiza manutenção inteligente?

- Não realiza.
- Fase inicial quanto a instalação dos recursos da Manutenção Inteligente.
- Realiza em alguns setores / linhas de produção.
- Realiza em mais da metade dos processos industriais.
- Realiza totalmete nos processos industriais.

20. Os principais processos possuem recursos digitais de modelagem e simulação do desempenho?

- Não.
- Está em fase inicial de implementação.
- Somente em alguns processos.
- Em mais da metade dos processos.
- Possui em todos os processos.

21. A empresa possui Patentes e/ou Propriedade Intelectual?

- Não.
- Possui algumas, mas não tem interesse em possuir mais.
- Possui uma quantidade razoável.
- Sim. Porém, somente em algumas unidades específicas da empresa que se investe para obter patentes.
- Sim. A empresa local investe em pesquisadores objetivando sempre ter novas patentes.

22. A empresa tem interesse e/ou se preocupa com publicações científicas?

- Não.
- Muito raramente.
- A empresa tem interesse, mas não investe nessa área.
- A empresa se preocupa e está iniciando um processo para aumentar as publicações científicas.
- Sim. A empresa investe para que cada vez mais, novas publicações ocorram

23. Os conhecimentos são compartilhados entre todos da empresa?

- Não.
- Muito raramente, somente o necessário.
- Os conhecimentos mais básicos e necessários que são compartilhados em pequena / média escala.
- Os conhecimentos são compartilhados com frequência, mas depende do nível hierárquico e/ou setor.
- Todo conhecimento é sempre compartilhado, independente do setor e/ou nível hierárquico.

24. O cliente possui acesso para acompanhar as etapas do processo produtivo?

- Não possui.
- Está em fase inicial de implementação.
- Possui parcialmente em alguns produtos específicos.
- Possui em mais da metade dos produtos.
- Possui em todos os produtos da empresa.

25. Os principais processos de negócio são digitalizados e partilhados internamente na empresa e com os demais parceiros de negócios?

- Não há digitalização dos processos.
- Os processos são digitalizados, mas permanecem no setor. Não há nenhum compartilhamento dessas informações.
- Os processos são digitalizados e partilhados internamente na empresa. Com os demais parceiros de negócios não há compartilhamento.
- Os processos são digitalizados, e somente em alguns casos são partilhados internamente na empresa e com os demais parceiros de negócios.
- Todos processos são digitalizados e partilhados internamente na empresa e com os demais parceiros de negócios.

26. A empresa produz produtos com sistemas embarcados e inteligentes?

- Não.
- Muito raramente / Está em fase inicial de implementação.
- Produz pequena quantidade.
- Produz com frequência. Mais da metade do portfólio de produtos são inteligentes.
- Todos os produtos possuem sistemas embarcados e inteligentes.

27. Existe rastreabilidade do produto final?

- Não possui.
- Está em fase inicial de implementação.
- Possui parcialmente em alguns produtos específicos.
- Possui em mais da metade dos produtos.
- Possui em todos os produtos da empresa.

28. A Indústria utiliza algum recurso de Big Data?

- Não.
- Fase inicial quanto a instalação. A implementação foi realizada em alguns processos específicos na Indústria, gerando apenas aglomeração de dados, sem o recurso de análise dos mesmos.
- Possui parcialmente. A configuração ainda é limitada quanto a análise da grande quantidade de dados em alguns processos específicos.
- Possui, porém ainda é limitado. O uso da Internet não é frequente, não sendo ágil a análise da grande quantidade de dados.
- Possui totalmente. A instalação é por todos os processos onde a captação de dados é integrada entre os sensores.

29. A Indústria utiliza serviço de Computação em nuvem (Cloud Manufacturing)?

- Não.
- Fase inicial de utilização.
- Possui parcialmente. O recurso está disponível em alguns processos específicos na Indústria.
- Possui em mais da metade da empresa, com algumas limitações.
- Possui totalmente. Todas as informações são coletadas e armazenadas no sistema em nuvem.

30. A indústria faz uso de algum recurso de Segurança da Informação?

- Não.
- Fase inicial quanto a instalação.

- Possui parcialmente. O recurso está disponível em alguns processos específicos.
- Possui de maneira avançada. Alguns setores já utilizam e há previsão de expansão.
- Possui totalmente. Todas as informações que estão armazenadas digitalmente estão protegidas.

31. A indústria trabalha com realidade aumentada (AR- Augmented Reality) ou realidade virtual (VR - Virtual Reality)?

- Não.
- Fase inicial de implementação.
- Possui em setores específicos.
- Possui em mais da metade dos setores.
- Possui em toda a empresa.

32. A indústria utiliza Manufatura Aditiva (Impressão 3D) para compor a linha de produção ou para produtos finais?

- Não.
- Não utiliza, mas está estudando possibilidades para utilizar.
- Fase inicial de implementação.
- Utiliza em algumas linhas específicas.
- Utiliza em grande quantidade.

33. A indústria possui Robôs Autônomos na linha de produção?

- Não.
- Fase inicial de implementação.
- Possui em setores específicos.
- Possui em mais da metade dos setores.
- Possui em toda a empresa.

34. Os equipamentos são dotados de tecnologias de inteligência artificial, que possibilitam o contínuo aperfeiçoamento, capacitando-os a tomarem decisões de forma autônoma?

- Não.
- Fase inicial de implementação.
- Possui em setores específicos.
- Possui em mais da metade dos setores.
- Possui em toda a empresa.

35. Existem consultorias na empresa?

- Não.
- Muito raramente.
- Ocorre com pequena frequência, em alguns setores somente.
- Ocorre com frequência.
- Ocorre com muita frequência / sempre.

36. A empresa participa/realiza eventos de networking?

- Não.
- Muito raramente.
- Participa com uma frequência regular, mas somente gerentes e/ou diretores.
- Participa com uma frequência regular, com variados níveis hierárquicos.
- Sempre participa, com variados níveis hierárquicos.

37. A empresa realiza estágios para estudantes?

- Não realiza.
- Está em fase inicial de implementação de programas de estágio.
- Sim, mas somente estágio voluntário.
- Sim. Mas somente em alguns setores.
- Sim. Todos os setores possuem pelo menos um estagiário.

38. A empresa possui parceria com programas de mestrados e doutorados?

- Não.
- Não realiza ainda, mas tem interesse.
- Muito raramente. Somente quando os mestrados / doutorados nos procuram.
- Sim. Temos parcerias com universidades e participamos de projetos de mestrado e doutorado.
- Sim. A empresa disponibiliza bolsas para mestrados e doutorados desenvolverem pesquisas de interesse para a indústria.

39. Os colaboradores compartilham seus resultados em seminários/apresentações/workshops?

- Nunca.
- Muito raramente.
- Somente apresentações internas para seu próprio setor.
- Somente níveis hierárquicos mais altos apresentam os resultados de seu setor para a empresa inteira.
- Todos os colaboradores compartilham seus resultados, apresentando para a empresa inteira.

40. A empresa está aberta à mudanças?

- Não há necessidade de mudar nada na empresa.
- Muito pouco.
- Somente alguns setores e/ou cargos que estão abertos à mudanças. Os demais são muito conservadores.
- A direção e os cargos de alta gerência estão abertos para mudanças. Porém, muitos colaboradores ainda têm receio.
- Sim. Todos os colaboradores estão preparados para mudanças.

41. A empresa apresenta inovações com frequência?

- Nunca.
- Muito raramente.
- Apresenta em pequena escala.
- Apresenta com frequência, em mais da metade dos setores.
- Sempre apresenta inovações, essa é uma das metas da empresa.

42. Existe uma coordenação central para as ações de transformação da Indústria 4.0?

- Não.
- Está em fase inicial de implementação.
- Há somente na empresa matriz.
- Há somente uma pessoa responsável por ações de transformação da I4.0 na empresa local.
- Há uma equipe responsável pela implementação da Indústria 4.0 na empresa local.

43. A empresa possui indicadores apropriados para monitorar o desdobramento das ações da Indústria 4.0 com objetivos e metas realistas?

- Não.
- Está em fase inicial de implementação.
- Existe, mas ainda é muito superficial.
- Existe, mas contempla somente alguns setores.
- Existe e está se aprimorando cada vez mais.

44. A empresa planeja e realiza os investimentos necessários para implementar as tecnologias da Indústria 4.0?

- Não.
- Muito pouco.
- Está em fase inicial de planejamento.
- Existe um planejamento, mas ainda não há recursos suficientes para a implementação de tecnologias 4.0 no momento.
- Sim. Há um planejamento e um budget destinado à implementação de tecnologias 4.0.

45. É realizada comunicação ágil e digitalizada com os clientes para vendas, serviços e aquisição de informações?

- Não.
- Está em fase inicial de implementação.
- É realizada, mas ainda há restrições e barreiras que dificultam essa comunicação.
- É realizada somente com alguns clientes e/ou produtos específicos.
- Sim. Toda a comunicação com os clientes é digitalizada.

46. A indústria possui marketing 4.0?

- Não possui.
- Fase inicial de implementação.
- Muito pouco.
- Possui parcialmente.
- Possui totalmente.

47. A indústria possui parcerias com Universidades?

- Nenhuma parceria.
- A indústria estuda possibilidades de parcerias.
- Fase inicial de uma parceria.
- Possui parceria com uma instituição.
- Possui parceria com diversas instituições.

48. Qual o nível de interação Universidade-Empresa?

- Nenhuma interação.
- Muito baixa.
- Média, há muita burocracia e restrições.
- Alta, ainda há algumas restrições.
- Muito alta. A universidade está totalmente aberta para a indústria, e vice-versa.

49. Há confiança mútua na relação comprador-fornecedor?

- Não.
- Muito pouco.
- Razoavelmente.

Há confiança com frequência.

Existe grande confiança.

50. Há compartilhamento de informações relevantes com outras empresas da cadeia de suprimentos, para uma ágil tomada de decisões?

Não.

Muito pouco.

Razoavelmente.

Há compartilhamento de informações com frequência.

Todas as informações relevantes são compartilhadas.

51. Há uma transferência de conhecimento entre os diferentes setores da empresa?

Não.

Muito pouco.

Somente de maneira superficial.

Há transferência de conhecimento entre alguns setores somente.

Há uma grande transferência de conhecimento entre todos os setores da empresa.

52. Os conhecimentos são compartilhados com os fornecedores?

Não.

Muito pouco.

Razoavelmente.

Há compartilhamento de conhecimentos com frequência.

Sempre há compartilhamento de conhecimento.

53. Os conhecimentos são compartilhados com os clientes?

Não.

Muito pouco.

Razoavelmente.

Há compartilhamento de conhecimentos com frequência.

Sempre há compartilhamento de conhecimento.

54. Há transferência de conhecimento tecnológico desde a fase de P&D até a comercialização do produto na empresa?

Não.

Muito pouco.

Somente é transferido o conhecimento que é de extrema importância.

Há essa transferência de conhecimento vertical, mas não de maneira totalitária.

Todo conhecimento tecnológico é compartilhado desde a fase de P&D até a comercialização do produto.

55. Há transferência de conhecimento tecnológico entre os projetos da empresa?

Não.

Muito raramente.

Somente em alguns setores.

Há em mais da metade dos setores.

Todos os projetos compartilham os conhecimentos tecnológicos entre eles.

56. A empresa troca informações em tempo real com sua cadeia de suprimentos?

Não.

- Está em fase inicial de implementação.
- Há troca de informações em tempo real, mas ainda existem problemas e falhas nessa comunicação.
- Somente entre algumas empresas da cadeia de suprimentos que há troca de informações em tempo real.
- Sim. Todas as informações são trocadas em tempo real.

57. Entre os departamentos e níveis hierárquicos, existe troca de informações da produção em tempo real?

- Não.
- Está em fase inicial de implementação.
- Há troca de informações em tempo real, mas ainda existem problemas e falhas nessa comunicação.
- Somente entre alguns setores que há troca de informações em tempo real.
- Sim. Todas as informações são trocadas em tempo real.

58. A Indústria possui algum sistema, como rastreabilidade, para gerenciar o ciclo de vida do produto (desde a matéria prima, até o seu descarte)?

- Não.
- Está em fase inicial de implementação.
- Possui parcialmente. Somente alguns recursos do sistema de gerenciamento do ciclo de vida do produto estão disponíveis.
- Possui em mais da metade dos produtos.
- Possui totalmente. É possível acompanhar em tempo real desde a matéria-prima até a retirada do produto do mercado.

59. Qual o nível de conectividade da empresa?

- Muito baixo.
- Baixo.
- Médio.
- Alto.
- Muito alto.

60. Existe atualização bidirecional de informações entre as instalações e equipamentos reais com as cópias digitais?

- Não.
- Está em fase inicial de implementação.
- Existem muitas falhas ainda, as cópias digitais demoram para serem atualizadas.
- Existe e funciona em mais da metade dos setores / máquinas.
- Existe em toda a empresa, e a atualização é sempre em tempo real.