

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

NATÁLIA CIBELE DE SOUSA SANTOS

**MODELO DE CARACTERIZAÇÃO DE EMPRESAS PARA AVALIAÇÃO DE
PRONTIDÃO E MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0**

PONTA GROSSA

2021

NATALIA CIBELE DE SOUSA SANTOS

**MODELO DE CARACTERIZAÇÃO DE EMPRESAS PARA AVALIAÇÃO DE
PRONTIDÃO E MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0**

**Company characterization model for assessment of readiness and maturity of
Industry 4.0**

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, do Departamento de Pós-graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Trojan

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.



NATALIA CIBELE DE SOUSA SANTOS

**MODELO DE CARACTERIZAÇÃO DE EMPRESAS PARA AVALIAÇÃO DE PRONTIDÃO E
MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0**

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

Data de aprovação: 27 de Agosto de 2021

Prof. Flavio Trojan, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Joseane Pontes, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Vanessa Batista Schramm, Doutorado - Universidade Federal de Campina Grande (Ufcg)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 21/01/2022.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida e pelas oportunidades que me tem dado e me guiado a sempre seguir o caminho correto.

Ao meu esposo, Jarbas Júnior, pelo companheirismo e incentivo nos principais momentos em que precisei. À minha família pelo apoio incondicional, carinho e cuidado, em especial aos meus pais, Edilair e Suely, a minha sogra Maria Aparecida e ao meu sogro Jabas.

Ao meu orientador, Professor Flavio Trojan, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

À UTFPR e aos professores do PPGEP pelos ensinamentos que contribuíram para o meu crescimento profissional e que fizeram parte da construção desta dissertação.

À Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior - CAPES pelo subsídio financeiro (Código de Financiamento 001) para a realização do mestrado e desta pesquisa.

E, por fim, a todos que de alguma forma se sentiram parte dessa grande fase, e que foi um marco na minha carreira profissional.

RESUMO

A Quarta Revolução Industrial, também conhecida como Indústria 4.0, proporciona às indústrias melhorias na produtividade, no atendimento e na qualidade dos produtos e serviços. Essa definição surgiu na Alemanha em 2011, visando desenvolver o conceito de fábricas inteligentes, ou seja, fábricas com alto grau de autonomia e flexibilidade, estimulando a competitividade e o desenvolvimento econômico de um país. Desde então, as indústrias vêm tentando implementar esse novo conceito, muitas empresas e pesquisadores da área estão desenvolvendo modelos de maturidade para medir em que nível as empresas estão na implementação dos conceitos e tecnologias da Indústria 4.0. Porém, constatou-se que é difícil medir o nível de maturidade em relação a indústria 4.0 em empresas que não possuem o conhecimento necessário sobre o novo conceito e que não buscam implementar nem o mínimo necessário dos componentes alinhados à essa nova Revolução Industrial. Sendo assim, existem empresas que são submetidas aos modelos de maturidade sem estarem aptas a serem avaliadas ainda. Diante deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo ajustar e aplicar um modelo de prontidão em uma indústria do setor de alimentos e processados para que se possa avaliar em que patamar esta empresa se encontra em relação ao modelo de prontidão utilizado baseado nos critérios sugeridos. Para isto, foi realizada uma revisão de literatura para contextualizar as características, os componentes e a aplicação dos modelos de maturidade. Com a aplicação do modelo, aferiu-se que o grau de prontidão da empresa analisada apresentou um resultado inferior ao seu porte e ao resultado esperado, estando na dimensão primária de prontidão. Também foi possível concluir que esse modelo pode ser aplicado em empresas de outros segmentos para verificar em que patamar estão na implementação da Indústria 4.0, o modelo aqui proposto se difere dos já existentes por usar o método AHP para classificar os pilares da indústria de 4.0 de acordo com o seu grau de importância, uma vez que os outros modelos de prontidão dão a mesma importância para todos os pilares.

Palavras-chave: modelos de maturidade; indústria 4.0; modelagem multicritério; modelos de prontidão.

ABSTRACT

The Fourth Industrial Revolution, also known as Industry 4.0, provides industries with improvements in productivity, service and the quality of products and services. This definition emerged in Germany in 2011, aiming to develop the concept of smart factories, that is, factories with a high degree of autonomy and flexibility, stimulating a country's competitiveness and economic development. Since then, industries have been trying to implement this new concept, many consulting companies and researchers in the field are developing maturity models to measure the level at which companies are implementing the concepts and technologies of Industry 4.0. However, it was found that it is difficult to measure the level of maturity in relation to industry 4.0 in companies that do not have the necessary knowledge about the new concept and that do not seek to implement even the minimum necessary components aligned to this new Industrial Revolution. Therefore, there are companies that are submitted to maturity models without being able to be measured yet. Given the context, this work aims to apply a readiness model in an industry in the food and process sector so that it can be measured at what level this company is in relation to the readiness model used based on the modeling criteria used. For this, a literature review was carried out to contextualize the characteristics, components and application of maturity models. With the application of the model, it was verified that the level of readiness of the analyzed company presents a result lower than its size and the expected result, primary in the primary priority of readiness.

Keywords: maturity models; industry 4.0; multicriterial modeling; readiness models.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Pilares da Indústria 4.0	22
Figura 2 - Atribuição de pesos na comparação par a par entre A, B e C.....	46
Figura 3- Matriz de comparação par a par entre A, B e C.....	46
Figura 4 - Normalização dos dados da comparação entre A, B e C.....	47
Figura 5 - Normalização dos dados da comparação entre A, B e C.....	47
Figura 6 - Cálculo do maior autovalor da matriz de julgamento.....	48
Figura 7 - Índice de Consistência Randômico.....	48
Figura 8 - Etapas metodológicas	49
Figura 9 - Círculo dinâmico.....	52
Figura 10 - Conjunto de tecnologias	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Dimensões e Níveis de Classificação do Modelo de Prontidão 4.0.....	41
Quadro 2- Rearranjo e comparação das dimensões.....	42
Quadro 3 - Escala fundamental de números absolutos.....	45
Quadro 4 - Pré-requisitos para implementação das tecnologias pilares da Indústria 4.0	51
Quadro 5 - Gabarito do Círculo Dinâmico	53
Quadro 6 - Exemplo de Estruturação de Formulário	55
Quadro 7 - Características de análise de prontidão	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Exemplo de Arranjo de Valores	55
Tabela 2 - Dimensões de tecnologia.....	57
Tabela 3 - Adoção das tecnologias pilares pela empresa.....	63
Tabela 4 - Pesos de importância atribuídos a cada tecnologiaa	64
Tabela 5 - Valores aplicados à equação para determinação do grau de prontidão.....	64

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

360DMA	<i>360 Digital Maturity Assessment</i>
AHP	Processo hierárquico analítico
AM	Manufatura Aditiva
B2B	Negócio para empresas
C2C	Comunicação entre humanos
C2M	Comunicação entre humano e máquina
CMMs	Modelos de maturidade decapacidade
CMMI	Integração do modelo de maturidade de capacidade
CPS	<i>Cyber Physical Systems</i>
CRM	Gerenciamento de relacionamento com o cliente
E&O	Estratégia e Organização
ERP	Sistema integrado de gestão empresarial
F	Funcionários
FAHP	Processo de hierarquia analítica difusa
FI	Fábrica Inteligente
FIS	Sistema de inferência
IC	Índice de Consistência
IMPULS	Industrie 4.0- Readiness
IoT	Internet das coisas
M2DDM	Modelo de maturidade para manufatura orientada a dados
M2M	Comunicação entre máquinas
MAUT	Teoria da Utilidade
NRW	Modelo North Rhine-Westphalia

OI	Operações Inteligentes
OSCM	Operações inteligentes e gerenciamento de cadeia de suprimentos
PI	Produtos Inteligentes
PME	Micro e pequenas empresas
RFID	Identificador de radiofrequência
S&L	Conhecimento, Estratégia e Liderança
SMARTER	Técnica simples de classificação de múltiplos tributos usando classificações de exploração
SOD	Serviços Orientados por dados
TI	Tecnologia da informação
WSN	Rede de sensores sem fio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivo geral.....	15
1.2	Objetivos específicos.....	15
1.3	Justificativa	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	Indústria 4.0	17
2.2	Pilares da indústria 4.0	21
2.2.1	Cyber physical system (CPS)	22
2.2.2	Internet of things (IoT)	24
2.2.3	Big data e Big data analysis.....	27
2.2.4	Computação em nuvem	29
2.2.5	Manufatura aditiva.....	30
2.2.6	Robôs colaborativos	30
2.2.7	Realidade aumentada.....	30
2.2.8	Inteligência artificial – AI.....	31
2.3	Modelos de maturidade.....	32
2.3.1	Modelo de maturidade proposto e aplicado a uma indústria indiana	32
2.3.2	Modelo de maturidade para logística 4.0	33
2.3.3	Modelo de maturidade que combina operações inteligentes e gerenciamento de cadeia de suprimentos (OSCM)	34
2.3.4	360 digital maturity assessment	36
2.3.5	Avaliação do nível de maturidade de oito empresas no interior de São Paulo.....	37
2.3.6	Modelo de maturidade de três estágios em PMEs para a indústria 4.0	37
2.3.7	Modelo de maturidade para manufatura inteligente	38
2.3.8	Avaliação do nível de maturidade de uma empresa estratégica de defesa	39
2.3.9	Modelo de maturidade do processo de entrega 4.0	40
2.4	Modelos de prontidão.....	41
2.5	Tomada de decisão e modelagem multicritério	42
2.5.1	Método AHP.....	45
3	MATERIAIS E MÉTODOS	49
3.1	Etapa 1 - identificação dos modelos de maturidade que avaliam empresas sem estarem no justo patamar da indústria 4.0	50
3.2	Etapa 2 - definição das tecnologias pilares da indústria 4.0	50
3.3	Etapa 3 - definição de pesos para os critérios	50

3.4	Etapa 4 - pré-requisitos para implementação das tecnologias pilares da indústria 4.0	50
3.5	Etapa 5 - categorização dos pré-requisitos	52
3.6	Etapa 6 - desenvolvimento do modelo para medir o grau de prontidão das empresas em relação a implementação das tecnologias da indústria 4.0	54
3.7	Definição do grau de adoção de cada tecnologia pilar	56
3.8	Etapa 7 – medição do grau de prontidão da empresa	58
3.9	Etapa 8 - recomendação de ações para melhoria	59
4	APLICAÇÃO	61
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	66
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
	REFERÊNCIAS	68
	APÊNDICE A - Questionário de avaliação de prontidão/maturidade	74
	APÊNDICE B - Questionário relacionado à adoção das tecnologias pilares respondido	83
	APÊNDICE C - Tabela de Cálculo de Pesos de importâncias das Tecnologias Pilares pelo Método AHP	91

1 INTRODUÇÃO

Desde o surgimento do conceito da Indústria 4.0, vem se elevando os trabalhos publicados relacionados ao tema. (KIPPER *et al.*, 2020). Em uma linguagem simples, este conceito Indústria 4.0, também relacionado com uma Quarta Revolução Industrial é a expressão que define uma evolução tecnológica e econômica. Mesmo que não se possa caracterizá-la completamente, a Indústria 4.0 poderia ser considerada como uma nova forma organizacional dos meios de produção (SCHWAB, 2019).

Devido a relevância do tema, existe na literatura muitos modelos de maturidade, alguns deles são: *IMPULS – Industrie 4.0- Readiness* (LICHTBLAU, GOERICKE E STICH, 2015); Indústria 4.0-MM (GÖKALP *et al.*, 2017); *Industrie 4.0 Maturity Index* (SCHUH *et al.*, 2017); *Industry 4.0 Maturity Model* (SCHUMACHER, EROL E SIHN 2016); *Industry 4.0 Maturity Model* (GÖKALP *et al.*, 2017); *Manufacturing Value Modeling Methodology* (TONELLI *et al.*, 2016); *Maturity Model for Data-Driven Manufacturing (M2DDM)* (WEBER *et al.*, 2017), os quais medem em que nível as empresas estão na implementação dos conceitos e tecnologias da Indústria 4.0.

Segundo Gökalp *et al.* (2017), um modelo de maturidade pode ser compreendido como um método que define o estado de desenvolvimento de uma determinada área de interesse. Com ele é possível reconhecer a situação atual da empresa e em alguns casos propor medidas que melhorem determinado processo. Porém, percebe-se que esses modelos de maturidade que analisam as indústrias no contexto da Indústria 4.0, estão sendo implementados de maneira precipitada, em empresas que estão muito distantes da realidade 4.0. O que pode ser percebido nos trabalhos de Wagire *et al.* (2020); Facchini *et al.* (2019); Caiado *et al.* (2020) e Colli *et al.* (2018), os quais desenvolveram modelos de maturidade e obtiveram baixos resultados em suas aplicações.

Outros autores já abordaram sobre o fato de que esses modelos estão sendo implementado de maneira precipitada, Schumacher, Erol e Sihn (2016), afirmam que muitas empresas onde esses modelos são aplicados não possuem o conhecimento básico necessário sobre a Indústria 4.0. O que pode ser explicado pelo fato de que essa nova era digital possui um alto grau de tecnologia e digitalização, e como essas mudanças estão acontecendo rapidamente muitas vezes, de uma forma radical, as empresas não conseguem acompanhar (CAROLIS *et al.*, 2017).

Conforme Santos e Martinho (2019), é difícil medir o nível de maturidade em relação a indústria 4.0 em empresas que não estão implementando e não buscam implementar o mínimo

necessário dos componentes alinhados à essa nova evolução ou não possuem o conhecimento necessário para responder os questionários majoritariamente utilizados nos modelos de maturidade existentes atualmente. Ainda, esses autores afirmam que não encontraram na literatura nenhum modelo de maturidade completo e suficiente para orientar uma avaliação auto-administrada.

No estudo de Lin, Wang e Sheng (2019), por exemplo, a grande maioria das empresas testadas sob um dos modelos de maturidade existentes, resultaram estar imaturas, necessitando de melhorias e da reavaliação de suas estratégias de transformação relacionadas à Indústria 4.0. Não pelo fato de que os modelos utilizados no estudo não são apropriados, mas sim porque as empresas ainda não são maduras o suficiente para serem medidas.

Segundo Wagire *et al.* (2020), as complexas características da indústria 4.0 ainda não foram totalmente compreendidas pela maioria das empresas. Em seu estudo foi desenvolvido um modelo de maturidade, o qual foi validado em uma empresa de fabricação de componentes automáticos e os resultados revelaram que sua pontuação de maturidade foi 2,88 de 5.

Outro modelo de maturidade foi desenvolvido no estudo de Martinho e Santos (2019), o qual foi aplicado em duas empresas, a empresa 1, uma fabricante multinacional de pneus automotivos apresentou uma classificação geral de 2,5 de 5, enquanto a empresa 2, uma montadora multinacional de automóveis, a qual os autores relataram ter uma expectativa de que seu nível seria alto, obtiveram um nível de maturidade geral de apenas 1,3 por não possuírem uma estratégia integrada para a implementação das tecnologias envolvidas na indústria 4.0.

Assim, acredita-se que o ideal é aplicar um modelo de maturidade em empresas que já sejam consideradas 4.0 em algum nível e não em empresas que estejam bem distantes desta realidade. Como já foi mencionado nos estudos de Schumacher, Erol e Sihm (2016). Porém, para evitar a aplicação precipitada de modelos de maturidade em indústrias muito distantes da realidade 4.0, sugere-se aplicar um modelo de prontidão, o qual verificar se a empresa está pronta para ser medida por um modelo de maturidade.

Todavia, mesmo que as abordagens desta Indústria estejam resumidas neste tópico inicial, é importante ressaltar que grande parte das publicações encontradas traz modelos de maturidade/prontidão como se fossem sinônimos e os usam indistintamente. No uso dos termos, a maturidade representa o quanto as empresas já caminharam para o amadurecimento, enquanto pouco se diz sobre as tecnologias habilitadoras para medir o grau de preparação das empresas, que Pacchini (2019) chamou de grau de prontidão e antes dele Schumacher, Erol e Sihm (2016) já haviam feito esta distinção pois para os autores, a prontidão é anterior à análise de maturidade.

Dessa forma, o modelo desenvolvido no presente trabalho caracteriza-se como uma

etapa anterior necessária à implementação de um modelo de maturidade, também chamado avaliação de “prontidão” em relação às filosofias da Indústria 4.0.

O modelo de prontidão o qual será desenvolvido no presente trabalho, utilizará o método AHP, Lichtblau *et al* (2015) usaram o modelo de prontidão *Industrie 4.0 Readness Impuls* para examinar onde empresas da área de engenharia mecânica e instalações estão atualmente, com foco em questões como o que os motiva, o que os retém, diferenças entre pequenas e médias empresas (de um lado) e diferenças entre grandes empresas (de outro). Para tanto, este modelo utilizado permitiu o desenvolvimento de uma imagem detalhada e sistemática da prontidão da Indústria 4.0 do setor em estudo.

Todos estes estudos corroboram o fato de que existem empresas que são submetidas aos modelos de maturidade sem estarem no justo patamar de aplicação dos modelos e, neste raciocínio, a problemática deste estudo sugere a definição de uma Indústria 4.0 e a determinação de fatores ou pré-requisitos mínimos para que possam ser submetidas a uma avaliação de maturidade.

Dado o exposto, apresenta-se a seguinte pergunta de pesquisa: O quão preparada tecnologicamente uma empresa está para que possa receber tecnologias e estar em um nível de maturidade considerado bom para o seu porte e assim ser medida por um modelo.

1.1 Objetivo geral

O objetivo geral do presente estudo é propor um modelo de caracterização de empresas para avaliação de prontidão e maturidade da indústria 4.0.

1.2 Objetivos específicos

- Identificar quais são as tecnologias pilares da Indústria 4.0;
- Identificar os pré-requisitos para adoção das tecnologias pilares da Indústria 4.0;
- Identificar estudos que aplicaram modelos de maturidade e obtiveram baixos resultados;
- Descrever as boas práticas apropriadas a Indústria 4.0;
- Estabelecer um modelo que possibilite medir o grau de prontidão da empresa para a implementação da Indústria 4.0 e indicar as áreas de atenção prioritárias para avaliar o grau de prontidão da empresa;

- Aplicar o estudo em indústria inserida no contexto da Indústria 4.0.

1.3 Justificativa

Segundo Firjam (2016), grande parte da indústria nacional está atrasada em relação aos países industrializados, pois ainda se encontram em transição entre a indústria 2.0 e a indústria 3.0, caracterizadas pelo uso de energia elétrica, linhas de montagem, automação, programação e robótica.

O parque industrial nacional perdeu competitividade por causa desse atraso, como o Brasil não acompanhou a evolução tecnológica ocorrida no mundo durante as últimas três revoluções industriais, as indústrias nacionais ficaram obsoletas frente às organizações mundiais.

Segundo Marques (2017), a pressão competitiva será cada vez mais intensa e as empresas brasileiras vão sentir a necessidade de se modernizarem. E quanto mais acesso à informação as indústrias tiverem, mais fácil será esse processo. Além disso, segundo Carolis *et al.* (2017), as indústrias necessitam de um modelo capaz de auxiliá-las no desenvolvimento e avanço da indústria 4.0. Com isso, justifica-se a presente pesquisa, uma vez que sua análise permitirá melhorar uma lacuna pertinente na literatura, pois esse estudo sugere uma definição de uma Indústria 4.0 e a determinação de fatores e pré-requisitos mínimos para que possam ser submetidas a uma avaliação de maturidade através de um modelo de prontidão.

Diante disso, este estudo apresenta-se como relevante para as indústrias do país, podendo auxiliá-las não só no entendimento sobre sua posição no contexto atual, como em como se desenvolver tecnologicamente e acompanhar essa nova realidade industrial.

Esse estudo mostrará para as indústrias não só o grau de adoção das tecnologias importante para a implementação da indústria 4.0, mas também qual caminho devem seguir para evoluírem. Além disso, alguns autores afirmam que ainda não encontraram na literatura nenhum modelo de maturidade completo e suficiente para orientar uma avaliação auto-administrada.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo apresentaremos inicialmente uma abordagem breve sobre a história da Indústria 4.0, seguindo de forma explicativa e detalhada as características e componentes da Indústria 4.0. Mais adiante comentaremos sobre modelos de maturidade aplicados a indústria, e finalizaremos este capítulo abordando o tema modelagem multicritérios, o qual utilizaremos para solucionar o problema central desta dissertação.

2.1 Indústria 4.0

As revoluções industriais assim como todo o avanço do setor ao longo dos séculos são reflexo da necessidade humana em melhorar sua qualidade de vida (WANG *et al.*, 2016). Na primeira revolução industrial (século XVIII) com as máquinas a vapor, houve uma alteração da forma de produção original para uma mais mecânica, posteriormente (na segundametade do século XIX) através da produção em massa e com a linha de montagem, alimentada pelo petróleo e eletricidade, houve a Segunda Revolução Industrial, já na terceira revolução (final do século XX), os avanços eletrônicos foram implementados juntamente coma tecnologia da informação e assim iniciou-se a automatização das linhas de produção (SHAFIQ *et al*, 2015).

Objetivando uma maior produtividade e eficiência do setor industrial do país e buscando novas oportunidades de mercados, surgiu no ano de 2011 o termo Indústria 4.0, uma iniciativa do governo alemão para desenvolver o conceito de fábricas inteligentes, ou seja, fábricas com alto grau de autonomia e flexibilidade, dando início a Quarta Revolução Industrial (TAO *et al*, 2018).

Segundo Azevedo (2017), representantes do governo, de empresas e instituições de ensino buscou promover a competitividade da indústria alemã, em busca da liderança no setor de inovações tecnológicas. O setor, portanto, continua a passar por evoluções buscando melhorias ao consumidor e também a própria indústria quando propõe mudanças (WANG *et al*, 2016).

A revolução emergente tem a ideia de uma indústria inteligente, pois Wang *et al* (2016) corroborando com Shafiq *et al* (2015) contribuíram mencionando o potencial dessa nova indústria que apresenta a ideia de eficiência de recursos, ergonomia, adaptabilidade, flexibilidade, pensando em alta qualidade com baixo custo, e uso da tecnologia de informação para implementação da Internet das Coisas, além de proporcionar ao cliente mais proximidade com seus parceiros de negócio em um aprofundamento integrado dos processos de negócio e

da engenharia, formando uma rede virtual de informações.

Dentre os pilares dessa nova era industrial, estão soluções como sistemas *cyber* físicos (CPS – *Cyber Physical Systems*), internet das coisas (IoT – *Internet of Things*), *Big Data* e Tecnologia de Nuvem, que visam integrar em tempo real pessoas, produtos, processos e infraestrutura, onde manutenção, fornecimento, fabricação, entrega e atendimento estão conectados, fazendo com que cadeias de valor rígidas sejam modificadas em redes de valor altamente flexíveis (KAGERMANN, 2016; ZHONG *et al*, 2017; XU, XU e LI, 2018).

Segundo Shafiq *et al* (2015), a nova ideia de indústria deve estar preparada para uma demanda de produtos individuais; uma linha de produção adaptável e flexível para atender aos novos requisitos do mercado; comunicação autoconsciente de peças, produtos e máquinas; interação homem-máquina, coexistência entre robôs; e novos serviços e modelos de negócio que alinhem essas propostas. As ideias propostas vão muito além de simples conceitos.

Produtos individuais, personalizados como opção ao consumidor mostra que o mercado tem uma demanda individualizada que está em constante inovação, acompanhar as necessidades do mercado unificando os produtos é o que a indústria busca, alterando o gerenciamento de pedidos e a quantidade produzida, mantendo a diversidade e atendendo com satisfação um número maior de clientes (CIARAMELLA; CELANI, 2019).

De acordo com Shafiq *et al* (2015) a tecnologia de fabricação com o trabalho de pesquisa e desenvolvimento, pensando na melhoria de locais de produção e no novo mercado, traçam novas estratégias de implementação focado nas interações horizontal, vertical e de digital (ou de ponta a ponta). Schumacher, Erol e Sihm (2016), afirmaram que novos métodos devem ser empregados para alinhadas estratégias e operações de negócio, superando assim dúvidas que possam vir a surgir sobre a Indústria 4.0.

Determinados por Wang *et al* (2016) como os principais recursos da Indústria 4.0, o autor ainda esclarece que:

- Integração Horizontal: refere-se ao relacionamento entre empresas, focando em um ecossistema eficiente de troca de informações, recursos e valores. Facilitando a criação de uma nova rede e modelo de negócios;
- Integração Vertical: é onde os sistemas de fabricação se tornam auto-organizados adaptáveis, flexíveis e reconfiguráveis, pois, com a coleta e processamento intenso de informações a produção se torna mais clara;
- Integração Digital: aborda a atuação da engenharia em um processo de criação de valor, de forma que os produtos personalizados sejam ativos no mercado. É o canal que pensa no processo *design* – fabricação do produto – cliente.

A IoT é um bom exemplo, pois, segundo Roblek, Mesko e Krapez (2016) permite o acompanhamento dos processos de fabricação visando manutenção, produção e otimização de energia. Sendo também uma base firme para os tipos de integração citados, pois, aparelhos inteligentes que se reconfiguram dinamicamente, fornecem dados constantemente para a nuvem, que recebe, processa e repassa, podendo surgir então novos modelos de negócio, como complementa Wang *et al* (2016).

Qin *et al* (2016) afirmaram que o setor de produção é o principal setor de uma indústria, é nele que está toda a linha de produção, desde a aparência até a execução do produto, pensando na importância deste setor os autores indicam que a tecnologia associada a Indústria 4.0 pode ser classificada, de baixa a alta inteligência, isso em níveis temos:

- Nível de automação: as tecnologias computacionais são usadas para substituir mão de obra e otimizar a eficiência da produção;
- Nível de integração: tecnologias como IoT e CPS são aplicadas a fábrica gerando o ambiente digital e as redes, que passam a coletar informações importantes, que processadas podem contribuir para a melhoria do processo de fabricação.
- Nível de inteligência: utiliza dados do nível de integração para analisar, criar e tomar decisões por tecnologias inteligentes, como a análise Big Data.

O desenvolvimento da Indústria 4.0 deve ser alinhado a um conjunto de operações que proporcionem sua implementação e execução, como afirma Antunes *et al* (2019), deve ser um esforço conjunto, subsidiado pelos setores públicos e privados, que espera por incentivos legais e financeiros adequados a objetivo, e conta com a experiência profissional dos trabalhadores sujeitos as mudanças, e no mercado de trabalho, para assim reduzir a incerteza de processos inovadores.

Atualmente a tecnologia de fabricação é fortemente impulsionada pelo aumento da eficiência dos processos de fabricação ocasionados pelo avanço tecnológico no setor, a forma de se fazer negócios está e continuará a mudar, algumas empresas correm o risco de não estarem aptas a competir (SCHUMACHER, EROL e SIHN, 2016; LARREA, ESTENSORO e SISTI, 2018). A disseminação de informação e conhecimento é a melhor forma para manter o mercado atualizado e ciente do que é a Indústria 4.0, segundo Carvalho e Filho (2018).

Com a proposta de personalização de produtos e serviços, o mercado se torna mais competitivo, os clientes passam a ter uma visão clara dos processos produtivos, e das informações de qualidade, confiança e condições técnicas de cada produto, portanto, as tecnologias emergentes devem ser aplicadas em todos os setores, garantindo que os produtos

tenham mais qualidade e estejam disponíveis com maior eficiência de recursos, produtividade e baixo custo, estando assim a empresa preparada para competir no mercado atual (WANG *et al*, 2016; ROBLEK, MESKO e KRAPEZ, 2016).

De acordo com Roblek, Mesko e Krapez (2016), o mercado deve compreender que nessa nova indústria, os produtos e/ou serviços conectados podem servir de base para que as empresas identifiquem vários fatores que influenciem a forma como os clientes tomam suas decisões, ajudando assim a manter e obter clientes, podendo ainda melhorar sua experiência. Embora complexo, os benefícios da Indústria 4.0 são citados e explicados por Wang *et al* (2016):

- Flexibilidade: ajuda a lidar com a constante mudança de demanda apresentada pelo mercado;
- Produtividade: tem-se a possibilidade de produção de pequenos lotes com diferentes produtos, as máquinas se reconfiguram e otimizam com a ajuda de *feedback* e *Big Data*;
- Recursos e eficiência energética: garantem a economia de energia, na alteração dos processos de produção, e com base nos dados coletados na produtividade podem ter conhecimento sobre o sistema de produção, mantendo a qualidade e o consumo de matéria prima estáveis;
- Transparência: com base na análise de *Big Data*, pode-se quantificar os indicadores de desempenho de todo o sistema, permitindo a tomada de decisões de forma mais rápida e consciente, proporcionando eficácia e acelerando as respostas ao mercado;
- Promove as integrações: as integrações podem ser realizadas acima da nuvem, o que proporciona uma produção sustentável que impacta na vida, cultura e organização pessoal;
- Rentável: o custo de operação se torna cada vez mais baixo quando comparada a uma linha de produção flexível e eficiente em recursos e energia;
- Amigável ao funcionário: com a interação entre pessoas e máquinas por meio de nuvem, atividade rotineira se tornam cada vez menores, com isso as manutenções e reparos podem ser feitos de forma preventiva.

Assim, o mundo digital e físico passam a trabalhar de forma unida e organizada, com rapidez e eficiência, cotidiano de grandes, médias e pequenas empresas, além da presença diária na vida do consumidor.

Para resumir o que foi dito pelos autores sobre a Indústria 4.0 Roblek, Mesko e Krapez (2016), explicaram conceitos e expressões associados a ideia:

- Fábrica inteligente, fábrica do futuro: fábrica flexível, dinâmica e autônoma, que tenha capacidade de melhorar seus processos através da auto otimização;
- Novos sistemas de desenvolvimentos de produtos e serviços: inovação aberta e inteligente de produtos e serviços individualizados;
- Auto-organização: descentralização dos sistemas de manufatura, as mudanças ocorrem em toda a linha de produção, onde processo de produção estarão conectados através de fronteiras corporativas;
- Produto inteligente: utilização de sensores para o acompanhamento do produto desde sua fabricação até sua utilização, para que aja interação com as máquinas na sua fabricação, e com *smartphones* durante sua utilização quando digitalizados;
- Novos sistemas de distribuição e compras: de forma cada vez mais individualizadas;
- Adaptação as necessidades humanas: uma combinação de ferramentas que se assemelhem a robôs. Os sistemas de manufatura e varejistas devem ser pensados para atender e seguir as necessidades humanas;
- Sistemas *cyber* físicos: sistemas que integrem computadores e redes que possam monitorar processos físicos.
- Cidade inteligente: compreende seis fatores de política de desenvolvimento: economia, mobilidade, ambiente, pessoas, vida e governo, tudo isso com base em redes inteligentes;
- Sustentabilidade digital: sustentabilidade e eficiência de recursos, respeitando regras e sendo ético ao se utilizar informações privadas, sendo base para produtos de sucesso.

Entende-se que expressões associadas ao conceito de indústria 4.0 não esclarece o que de fato vem a compor essa proposta, a seguir, identificaremos, apresentaremos e exemplificaremos os componentes da Indústria 4.0.

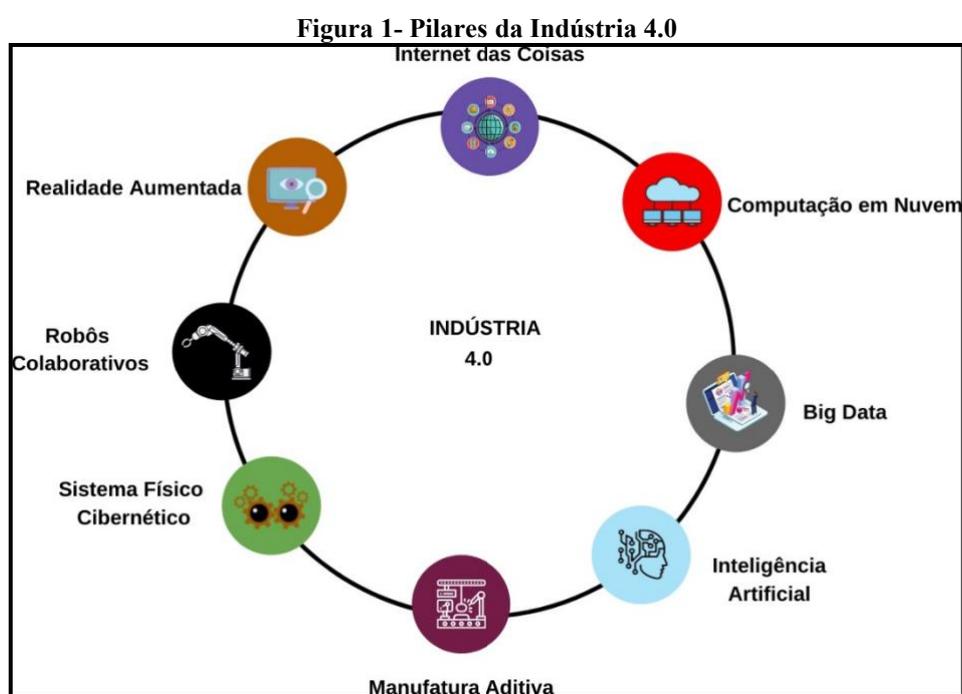
2.2 Pilares da indústria 4.0

Nessa subseção apresentaremos os componentes da Indústria 4.0. Conhecer esses

componentes é conhecer a fundo os pilares em que a indústria se mantém, é entender com mais cuidado a base, a importância e o potencial da nova indústria e seus campos de atuação no mercado.

Segundo Chhetri *et al* (2017), a Indústria 4.0 possui oito pilares, são eles: *Cyber Physical System* (CPS), *Big Data*, IoT (*Internet of Things*), Computação em Nuvem, Manufatura Aditiva (AM), Robôs Colaborativos, Realidade Aumentada e Inteligência Artificial, a introdução dessas tecnologias no sistema produtivo fará com que se alcance o padrão 4.0.

Na Figura 1 estão os nove pilares tecnológicos que serão descritos nesta subseção.



2.2.1 Cyber physical system (CPS)

De acordo com o que Xu, Xu e Li (2018) mencionaram, a introdução da CPS será uma mudança incrível para a quarta revolução industrial. Entretanto, o conceito CPS não é tão novo quanto se pode pensar, segundo Azevedo (2017), o conceito de CPS surge em 2006 nos Estados Unidos, porém, tem origens mais antigas. Apesar de ser um conceito antigo o CPS, assim como o termo IoT, que veremos a seguir, formam a base dessa nova indústria (SHAFIQ *et al*, 2015).

Ainda segundo Shafiq *et al* (2025), entende-se CPS como um conceito tecnológico que alinha mundo físico e mundo digital, que incorpora máquinas, sistemas e instalações. De

acordo com Azevedo (2017), o termo vai além, pois não especifica seus setores de implementação e aplicação, sendo, portanto, algo adaptável. Zhong *et al* (2017) corroboraram ao explicar que o CPS agrega várias metodologias transdisciplinares, permitindo assim que um grande número de sensores, por exemplo, atue de maneira efetiva e significativa em um CPS, além de poder ser encontrado em diversos campos.

CPS são sistemas projetados que precisam da integração entre algoritmos computacionais e componentes físicos (XU, XU e LI, 2018), os aplicativos de CPS são utilizados em sistemas autônomos que tem sua comunicação baseada em sensores, de acordo com Zhong *et al* (2017), que ainda afirmaram que essa é uma importante área de interesse para indústrias e instituições de ensino.

Essa arquitetura é dividida em cinco níveis, como explica Qin, Lin e Grosvenor (2016) a seguir:

- Nível de conexão: desenvolvimento de hardware da rede de sensores e comunicação sem fio, um nível comunicável;
- Nível de conversão: análise de dados brutos, para dados úteis, nível informativo;
- Nível cibernético: controla toda a rede por CPS, nível autômato;
- Nível de cognição: envolve inteligência artificial da rede, nível de manutenção preditiva;
- Nível de configuração: envolvido também com inteligência artificial da rede, nível de produção inteligente.

Os autores ainda afirmam que quando várias ideias e conceitos sobre a Indústria 4.0 são reunidos, pode-se resumir a indústria em dois princípios de design: interpolaridade e consciência. Zhong *et al* (2017) afirmaram que o investimento em desenvolvimento para CPS como conceito competitivo foram realizados para movimentar a economia global, sendo realizado então um trabalho, um trabalho multidisciplinar para alcançar requisitos, oportunidades e desafios em vários setores. Os princípios da Indústria 4.0 podem ser notados em vários setores.

CPS também tem como papel realizar o monitoramento, análise e automatização de processos industriais, alterando significativamente os processos logísticos e as transformações para a produção (PR-EUVENEERS, ILIE-ZUDOR, 2017). Wang *et al* (2016) ressaltaram que a Indústria 4.0 busca sempre por avanços tecnológicos para estar preparada para os desafios globais, como por exemplo, a sustentabilidade.

Kang *et al* (2016) esclareceram que para enfrentar o desafio exemplificado anteriormente, a fabricação passa a ser pensada de forma sustentável, tendo como propósito aumentar a eficiência e reduzir os resíduos, por meio de recursos sustentáveis e com a otimização de processo.

A engenharia busca sanar algumas dificuldades no CPS, pois como afirmaram Shafiq *et al* (2015) existe a necessidade de uma estrutura unificada que represente vários tipos de dados advindos de diferentes fontes físicas, para que o processamento seja realizado corretamente em cada contexto apresentado.

Com o CPS nas indústrias, as máquinas poderão interagir e os sistemas de controle descentralizados poderão otimizar a produção (XU, XU e LI, 2018), os recursos implementados, poderão definir de forma inteligente a implementação, a reconfiguração de forma dinâmica para obter flexibilidade na produção, como relataram Wang *et al* (2016). Antunes *et al* (2019) lembraram que a tecnologia CPS e IoT serão aplicados na produção com base nas tecnologias, gerando interação digital, ambiente e rede.

Em uma aplicação da tecnologia CPS, um fabricante de automóveis empregava tecnologias para otimizar sua linha de produção, buscando equilibrar a carga de trabalho, utilizou então a mão-de-obra com eficiência e conseqüentemente aumentou sua taxa de produção, a aplicação permitiu ao fabricante reduzir os custos operacionais e os investimentos de capital em cerca de 10%, já um fabricante de semicondutores conseguiu reduzir o tempo do ciclo de produção em 15%, reduzindo também o tempo de espera do equipamento, e aumentando o rendimento e a utilização de ativos (XU, XU, LI, 2018).

2.2.2 Internet of things (IoT)

Internet das coisas, ou, mais conhecido pelo termo IoT foi definido por Shafiq *et al* (2015), como a tecnologia central que é inovada e complementada por sistemas em nuvem, soluções econômicas da internet e conceitos advindos dessa proposta, assim como o IoS, ou, Internet dos serviços.

Wang *et al* (2016) disseram que a proposta é utilizar essas tecnologias que estão em constante crescimento e avanço para aprofundar a integração dos processos de negócios e processos de engenharia, para que se tenha uma produção de qualidade e baixo custo, que atenda ainda a questão de flexibilidade, eficiência e sustentabilidade.

O conceito moderno de manufatura está relacionado a IoT, que apresenta avanços recentes em infraestrutura de tecnologia da informação, no setor de armazenamento e

compartilhamento de dados, estando assim a empresa preparando com relação as demandas e flutuações do mercado no setor de manufatura (Zhong *et al*, 2017).

Antunes *et al* (2019) retrataram uma forma clara de se entender como o IoT funciona, explicando que o IoT unifica o meio digital e o meio físico, sendo possível sentir o mundo físico através dos meios digitais. Kang *et al* (2016), complementaram a definição de IoT como sendo a implementação de sensores comunicativos entre equipamentos e máquinas.

Roblek, Mesko e Krapez (2016), destacaram que a comunicação é distinta e separada em três tipos: entre humanos (C2C); entre humano e máquina (C2M); e entre máquina e máquina (M2M), sendo a última um facilitador da IoT. Antunes *et al* (2019) concorda com o autor, e completam dizendo que apesar das semelhanças que pode haver entre os conceitos M2M e IoT, este último envolve mais a prestação de um serviço. A IoT industrial também tem o propósito de melhorar os serviços de negócio para empresas (B2B) em diferentes setores ativos (ANTUNES *et al*, 2019).

Com a grande utilização de sensores na indústria a IoT destaca a utilização de um sensor, ou, etiqueta denominada RFID, que significa identificador de radiofrequência (XU, XU e LI, 2018). Essa tecnologia é utilizada em vários setores de repasse de mercadorias, como, armazéns, empresas de logística, centros de distribuição entre outras, pois com a identificação do objeto, este passa a interagir com outros objetos, criando uma rede de dados e informações a partir de seu comportamento, como explicaram Zhong *et al* (2017).

Após receber o sensor RFID o produto bruto passa a conter todas as suas informações de processo, essas informações contribuem para a organização das máquinas e configura a rota de produção, passando por cada processo de produção o sensor vai atualizando as informações, como explica Wang *et al* (2016) sobre a utilização do RFID. Zhong *et al* (2017) corrobora com o autor quando destaca que o RFID não apenas ajuda os usuários do produto final, como capturam dados relacionados as operações, possibilitando que o gerenciamento de produção seja alcançado em tempo real.

Segundo Xu, Xu e Li (2018) tem-se ainda rede de sensores sem fio (WSN), que junto com o RFID compõe os dispositivos mais importantes do IoT, e que ao contrário do RFID que é mais utilizado em setores como, transporte, entrega, gerenciamento de materiais e outros, o WSN aplica sensores inteligentes interconectados para detecção e monitoramento, como por exemplo, monitoramento Industrial, ambiental entre outros.

O autor ainda destacou que RFID, WSN e IoT são usados para apoiar o CPS, assim a Indústria 4.0 pode desenvolver várias opções de sistemas de fabricação que integram e sincronizam dados entre os objetos físicos e o *cyber* espaço da computação.

O Iot também contribui para o gerenciamento de relacionamento com o cliente (CRM), essa nova função contribui para a melhora do relacionamento entre empresa e cliente, tornando o suporte mais proativo, criando ambientes de suporte automatizados e aprimorados, como relatam Roblek, Mesko e Krapez (2016), que também ressaltaram um ponto importante em todo esse processo de inovação, os obstáculos que a Indústria 4.0 irá enfrentar, e um dos maiores como mencionam os autores é ter uma infraestrutura agregada a importantes investimentos em construção e manutenção.

Antunes *et al* (2019) citaram algumas tecnologias de comunicação que poderão potencializar a total realização do IoT, possibilitando ligações e comunicações ainda não imaginadas, são elas:

- *Bluetooth Low Energy* – redes de áreas pessoais;
- *Zigbee* – sistema de automação residencial;
- *Wifi*;
- *Low Power Wide área* – rede de larga área e baixa potência;
- Comunicação móvel – 3GPP, 4G e futuramente 5G.

Esses sistemas estão em constante atualizações e inovações associadas a tecnologias existentes e novos domínios de aplicação, como retrata o autor.

A conexão entre pessoas, sistemas, indústria e outros, é uma área em crescimento que pode trazer preocupações, Iyer (2016) apontaram 5 aspectos, sobre a evolução IoT:

- Fragmentação: fornecedores de soluções *end to end* na indústria de software, cada um apoiando um processo diferente na indústria;
- Parcerias: indústria de software, os apoiadores devem trabalhar sobre vários sistemas operacionais;
- Domínios fora da IoT: compreender a competitividade do mercado;
- Primeiro passo da IoT: construir a infraestrutura de comunicação para captar dados; Plataformas que ajudem a recolher os dados e transferi-los para a nuvem;
- Integração e interoperabilidade: entre equipamentos e sistemas, por mais de uma via.

Roblek, Mesko e Krapez (2016) também se preocuparam com a garantia de privacidade e segurança de forma que impossibilite acessar e usar os dados por pessoas não autorizadas. A segurança humana é fundamental, por esse motivo os protocolos não devem sem

simples e inseguros com hoje, mencionaram Antunes *et al* (2019).

2.2.3 Big data e Big data analysis

O IoT simplificou o processo de coleta de dados, porém, ainda não se tinha garantia de que todos os dados poderiam ser processados corretamente, e fornecer as informações para as quais foram requeridos inicialmente, cumprindo um ordenamento sequencial que não prejudicasse a produção, ou seja, tudo em seu devido momento (ZHONG *et al*, 2017).

Tao *et al* (2017) lembraram que em dado momento da história os dados brutos passaram a ser gravados em documentos escritos e não mais na memória humana, assim houve a possibilidade de análise de dados de forma estatística por exemplo, para explorar a possibilidade de redução de custos, controle de qualidade, entre outros. O autor ainda lembrou que a coleta de dados se manteve baixa, até a “era da informação”, quando os processos de fabricação sofreram alterações com a implementação de novas tecnologias, e a forma de coleta de dados passou a ser diferente.

Em fabricantes e organizações com muitos dados operacionais, a crítica sobre a análise de dados avançada é feita pensando em compreender e entender os padrões ocultos, correlações não conhecidas, tendência no mercado, preferência do cliente e outras informações úteis sobre o negócio (ZHONG *et al*, 2017).

Segundo Tao *et al* (2018) com a aplicação das tecnologias da informação nos processos industriais, o número de dados cresceu exponencialmente, e vários fatores contribuíram para essa realidade, sendo eles:

- Sistemas de informação – empregados para facilitar o gerenciamento de produção;
- Sistemas de computação – utilizados para a criação, simulação, modificação e otimização de novos produtos e processos;
- Robôs industriais e máquinas automáticas, empregados para controlar automaticamente os equipamentos de produção.

Na era com dados em crescimento explosivo, segundo Cheng *et al* (2017), a falta de habilidade em manusear de forma eficiente o grande número de dados é um problema, que pode ser solucionado com uma estrutura adequada para armazenar, manipular e analisar os dados, esse conceito refere-se a *Big Data* (AZEVEDO, 2017).

Falcão (2019) complementou dizendo que o conceito de *Big Data* se refere a um grande grupo de dados diversos e complexos que afetam as decisões organizacionais em relação

à estratégia da empresa. Corroborando com a autora Azevedo (2017) diz que o grande interesse no potencial do *Big Data* acelerou os investimentos em pesquisa e aplicação e apresenta quatro características que inovam o conceito de *Big Data*, seguido de duas outras características apresentadas por Tao *et al* (2018), sendo eles:

- Volume – quantidade de dados;
- Variedade – dados entrando de diferentes formas e por diversas fontes;
- Velocidade – dados regados e renovados rapidamente;
- Variabilidade – coerência no grupo de dados;
- Veracidade – os dados são associados a níveis e analisados;
- Valor – grande valor oculto nos dados.

Na era do *Big Data* as informações de maior interesse são encontradas com mais facilidade, além de tornar o processo de tomada de decisões melhor e mais fácil (CHENG *et al* 2017), além disso uma análise mais profunda pode melhorar a produtividade e a competitividade da empresa (ZHONG *et al*, 2017).

A se tratar de indústria, Tao *et al* (2018) categorizaram os dados gerados nos processos de fabricação da seguinte forma:

1. Dados dos sistemas de informações de fabricação;
2. Dados de equipamento;
3. Dados do usuário;
4. Dados de produtos;
5. Dados públicos.

Segundo os autores, na era do *Big Data*, a capacidade advinda das novas tecnologias da informação, proporciona aos fornecedores coletar, armazenar e processar dados de forma mais aprimorada, um exemplo de ferramentas que apoiam e melhoram esses processos é a IoT e a computação em nuvem, em consequência, empresas de grande, médio e pequeno porte podem se beneficiar com o valor desses dados.

Segundo Azevedo (2017), o termo *Analytics* refere-se aos padrões significativos nos dados e tem valor em todas as áreas do conhecimento, por isso os fornecedores desejam aplicar o *Big Data Analytics* em seus empreendimentos, como mencionam Zhong *et al*(2017).

A análise eficaz de *Big Data* pode ajudar fabricantes a ter uma visão mais geral de todo seu empreendimento, a ser mais racional com as decisões tomadas, e melhorar a

competitividade no mercado global, de acordo com Tao *et al* (2018). Além disso pesquisas acadêmicas e industriais, mostram que existe a possibilidade de se alcançar de 15% a 20% de retorno com o investimento em *Big data Analytics* (ZHONG *et al*, 2017).

Tao *et al* (2018) apresenta um estudo de caso de uma empresa que possui uma linha de produção de *wafers* de silício que desempenham um papel crítico na melhoria dos produtos de energia solar, nesse estudo o processo de fabricação envolve uma série de atividades de produção e possui uma linha de produção com vários equipamentos associados a esses processos, assim uma variedade de diferentes tipos de dados é gerado no processo de produção, e continuamente acumulados, com o suporte de análises de *Big Data* e a utilização de outras tecnologias como RFID, são coletados dados materiais com 9 características que passam por uma fusão de dados para terem reconhecimento único, em seguida se o resultado real for inferior a confiança definida um alarme é enviado para a operadora através de determinados meios, os dados também ficam a disposição do operador em tempo real, o esquema de distribuição do material é dinâmico e fornece ricas informações a todo o momento, sensores também são incorporados aos equipamentos para que se possa evitar falhas na linha de produção, as máquinas passam a ser monitoradas com mais eficiência e geram dados usados para determinar quais equipamentos precisam de alguma atenção, outros exemplos ainda podem ser explorados com a utilização do *Big Data* que pode ser utilizado em toda a cadeia de valores de uma empresa.

2.2.4 Computação em nuvem

O termo “*Cloud Manufacturing*” tem como definição, a ideia de um novo paradigma de manufatura que organiza todos os recursos de dados de acordo com usuário, utilizando computação em nuvem. Além de todos os requisitos necessários para fornecer ao usuário, por demanda, serviços e infraestruturas pela rede. (LIU; XU, 2016)

O serviço de computação em nuvem pública se refere a serviços de terceiros que disponibilizam pela rede algum tipo de trabalho e fundamentação. Enquanto o serviço de nuvem privada se refere a plataformas, *softwares* e infraestruturas que pertencem a mesma organização, sendo algo mais interno. Existe também a nuvem em comunidade que faz parte de uma metodologia de compartilhamento de recursos computacionais através de um grupo comunitário ou social pela rede. Por fim, é definido o conceito de nuvem híbrida que é a mesclagem de dois ou mais tipos de serviços de nuvens. (REN *et al.*, 2017).

Para Pacchini (2019), o número de tarefas relacionadas à produção de bens e serviços

na Indústria tem crescido cada vez mais, demandando o uso de aplicativos e dados compartilhados entre diferentes localidades e sistemas para além dos limites dos servidores de uma empresa. A computação em nuvem fornece recursos que refletem em uma importante redução de custo, tempo e eficiência na execução destas tarefas.

2.2.5 Manufatura aditiva

Também conhecida como impressão em 3D, este pilar envolve a produção de peças a partir de camadas sobrepostas de material, normalmente em forma de pó, para se obter um modelo 3D. Esta estratégia pode ser utilizada para criar produtos personalizados que oferecem vantagens de construção e desenhos complexos.

Outros pontos relatados por Pacchini (2019) e Gerbert et al (2015), mesmo que em estudos distintos, são que a tecnologia de manufatura aditiva será utilizada em larga escala na produção de produtos personalizados através de lotes 3D, que proporcionam vantagens em peças de design complex. Assim como a usinagem utiliza areia para moldes complexos, a manufatura aditiva encurtará este processo pela tecnologia 3D, agilizando os procedimentos de trabalho e diminuindo arestas.

2.2.6 Robôs colaborativos

Ao incorporar robôs inteligentes aos processos da Indústria, o setor ganha em desempenho e disponibilidade, deixando a execução de tarefas de produção logísticas e repetitivas a cargo das máquinas. Além de reduzir os custos, estes robôs representam um importante aumento na produção.

Entretanto, Bortolini et al (2017) relata que estas tecnologias de hardware (robôs) proporcionaram uma geração deles que trabalham em conjunto com operadores durante as atividades de trabalho, mas de forma limitada. Ambos coexistem no ambiente real desempenhando suas funções.

2.2.7 Realidade aumentada

Bortolini et al (2017) e Pacchini (2019) relatam que a realidade aumentada é uma tecnologia que realiza a integração do mundo virtual ao mundo real. Ela permite a sobreposição de objetos gerados por computador em um ambiente real, por meio de um dispositivo de

visualização (smartphone, tablet ou óculos especiais). A partir disto, é possível interagir com estes elementos virtuais em diversas atividades.

Os autores ainda afirmam que aplicar essa tecnologia é estar investindo e se preparando para o futuro que será comandado pela indústria 4.0, na qual pessoas, máquinas e produtos trocam informações e dados em tempo real por meio da integração de tecnologias digitais aos já conhecidos processos industriais. Utilizando os recursos deste pilar, é possível, por exemplo, enviar instruções de montagem via celular para o desenvolvimento de peças de protótipo e utilizar óculos de realidade aumentada para a gestão e operação de determinadas máquinas, melhorando e acelerando procedimentos de trabalho (BORTOLINI ET AL, 2017; PACCHINI, 2019).

2.2.8 Inteligência artificial – AI

O uso de inteligência artificial em processos produtivos pode ser muito abrangente e a depender de quão avançada esta empresa está, pode inclusive, envolver todos os processos. Pacchini (2019) relata que esta pode ser mensurada através de:

- Aproveitamento dos dados em tempo real: o sensoriamento e a conectividade entre as máquinas permitem o aproveitamento de dados, análises e a tomada de ações praticamente no momento da coleta da informação. Desta forma, é possível obter visibilidade de todo o processo de manufatura em detalhes em tempo real, descobrindo situações que precisam ser corrigidas, identificando necessidade de ações preditivas de manutenção ou planejando a forma ótima de utilização dos recursos;
- Identificação e correção de ineficiências no processo: a inteligência artificial possibilita identificar e analisar a causa raiz de alguma adversidade de forma mais eficiente que a verificação humana, uma vez que necessitariam mais tempo para encontrar correlações entre milhares de variáveis. Dados históricos e algoritmos preditivos são aplicados para rastrear a cadeia de eventos responsável pela falha de produção. Assim, ineficiências, instabilidades de processo ou quaisquer aspectos que impactem em qualidade ou rendimento podem ser rapidamente corrigidos.
- Previsão de ocorrências de ineficiências: além de identificar que algo não está bem no processo em tempo real, a tecnologia viabiliza estar um passo adiante – e prever quando algum evento vai acontecer. Por meio de análises preventivas e preditivas industriais e aprendizado de máquina, é possível utilizar os dados para prever resultados de determinadas ações ou necessidade de manutenção em algum

equipamento. E, conseqüentemente, aumentar a produtividade e evitar falhas iminentes.

2.3 Modelos de maturidade

Segundo Schumacher, Erol e Sihm (2016), os modelos de maturidade são avaliações realizadas com o intuito de buscar identificar o nível ou estágio de maturação de uma organização, possibilitando observar qual o ponto de partida para se iniciar o processo de desenvolvimento, por exemplo. Entretanto os resultados dessas avaliações realizadas nem sempre são satisfatórios, a seguir iremos analisar algumas dessas situações.

2.3.1 Modelo de maturidade proposto e aplicado a uma indústria indiana

Por ser um conceito recente, pesquisadores e profissionais divergem sobre aspectos da Indústria 4.0, portanto, antes de propor um modelo de maturidade busca-se entender a complexidade do domínio e definir claramente os aspectos e atributos da Indústria 4.0, por meio da análise de vários modelos de maturidade e prontidão (WAGIRE *et al*, 2020).

O modelo de maturidade proposto inclui 38 medidas de maturidade, espalhados por 7 dimensões, utilizando a técnica de tomada de decisão multicritério *Fuzzy Analytic Hierarchy Process* (FAHP) para identificar a contribuição de cada item na determinação do nível de maturidade da organização, além da utilização da escala Likert de cinco níveis.

Segundo Wagire *et al* (2020), as dimensões são divididas em: Pessoas e cultura, com peso de (0,12); Conscientização da Indústria 4.0, com peso de (0,06); Estratégia organizacional, com peso de (0,18); Cadeia de valor e processos, com peso de (0,17); Tecnologia de manufatura inteligente, com peso de (0,13); Tecnologia orientada para produtos e serviços, com peso de (0,15); e Tecnologia de base da indústria 4.0, com peso de (0,18).

Uma organização pode ser classificada com base na pontuação geral de maturidade obtida, podendo ser representada pelo nível 1 “*Outsider*”, ou, nível 4 “*Expert*”, a classificação desses níveis dar-se por intervalos, onde o nível de maturidade 1 pode ser descrito como estranho para empresas que pontuem entre 1 e 2, ou seja, são empresas que não tem quaisquer aspectos, planos mínimos, ou atividades de implementação em relação a Indústria 4.0, enquanto empresas que pontuam entre 4 e 5 recebem uma alta classificação, e encontram-se no nível 4, como especialistas essas empresas adotaram com sucesso todos os aspectos e tem aplicações intensas da Indústria 4.0, entre esses níveis podemos identificar ainda o nível 2 “*Digital*

Novice”, e o nível 3 “*Experienced*” (WAGIRE, *et al* 2020).

O modelo de maturidade proposto foi utilizado para avaliar o nível de uma organização líder em fornecimento de produtos e serviços de tecnologia na área de soluções de mobilidade, bens de consumo e tecnologia de construção, que obteve uma pontuação geral de maturidade de 2,88, estando classificada como “*Digital Novice*”, o modelo expõe também níveis de maturidade diferentes para cada dimensão avaliada, o que proporciona uma visão mais ampla dos aspectos em que a empresa precisa melhorar, de acordo com Wagire *et al* (2020). Ainda segundo os autores o modelo proposto preencheu explicitamente lacunas de pesquisa sobre a Indústria 4.0 para um país em desenvolvimento.

O modelo proposto enriquece ainda mais a literatura, entretanto, ressalta-se que o estudo é realizado em uma empresa líder em seu ramo, mas que apresentou um índice geral relativamente baixo após a realização da avaliação, o que gera uma contradição ao classificá-la como “líder”, pois os parâmetros dessa classificação não se alinham ao estudo em relação a Indústria 4.0.

2.3.2 Modelo de maturidade para logística 4.0

A literatura serve como guia para pesquisadores e profissionais, pensando na área de logística o modelo proposto recebe influência dos chamados modelos de maturidade de capacidade (CMMs), da integração do modelo de maturidade de capacidade (CMMI), contínuo e em níveis, do modelo *North Rhine-Westphalia* (NRW), assim com base na literatura referência foram identificados sistemas logísticos individuais, sendo então a logística dividida em subsistemas interdependentes, mas interconectados (FACCHINI *et al*, 2019).

De acordo com Facchini *et al* (2019) diferentes níveis de maturidade foram definidos para cada subsistemas, sendo eles: 1) Logística de compras: Sem troca de dados com o fornecedor, Troca de dados específicos, Troca de dados adicionais, Troca automática de dados, Troca automática de cadeia de suprimentos; 2) Logística de produção: Transferência de dados em papel, Transferência de dados em papel em formato digital, Sistema ERP, Completude de dados digitais, Transferência automática de dados; 3) Logística de distribuição: Sem troca de dados pelo cliente, Troca de dados específicos, Troca de dados adicionais, Troca automática de dados, Troca automática de cadeia de suprimentos; 4) Logística pós-venda: Sem troca de dados entre subsistemas, Troca de dados através de ERP, Dados em tempo real, Garantia automática de dados, Troca automática de dados.

O modelo proposto foi desenvolvido para oferecer medidas que podem ser traduzidas

em diretrizes e soluções para a Logística 4.0, assim foram identificados três dimensões principais que podem ser utilizadas para avaliar a maturidade e a consciência das soluções da Indústria 4.0 com foco nos processos logísticos, sendo elas Gestão, Fluxo de material, e Fluxo de informação, portanto, foram definidos cinco níveis de maturidade para avaliar as empresas em cada dimensão, onde o nível um indica a ausência de qualquer capacidade logística e o nível cinco a implementação e integração completa das soluções de logística, os níveis são denominados: Ignorando; Definindo; Adotando; Gerenciando; Integrado (FACCHINI *et al*, 2019).

Duas empresas líderes em suas áreas foram selecionadas por já terem implementado tecnologias da Indústria 4.0 para apoiar seus processos logísticos, na etapa de teste do modelo de maturidade, foram definidas duas macro dimensões: Gestão e Fluxo de materiais e informações, as macro dimensões foram subdivididas nas sub dimensões: Conhecimento, Estratégia e Liderança (S&L), Funcionários, Sistemas de TI, Produtos inteligentes, Armazéns Inteligentes, e Tecnologias, estando as três últimas alinhadas a macro dimensão de Fluxo de materiais e informações (FACCHINI *et al*, 2019).

Adotou-se para a classificação com relação a importância de cada item a escala Likert, sendo estabelecido pontuações a cada nível, segundo Facchini *et al* (2019), que continuaram a contribuir expondo que cada sub dimensão é analisada e pontuada com relação ao seu nível de maturidade, assim a primeira empresa apresenta resultados satisfatórios com relação a logística da empresa, assim como a segunda empresa, apesar dos bons resultados ainda foram identificados pontos que merecem atenção.

O modelo apresentado avalia somente o setor de logística da empresa, que já tenham implementado tecnologias da Indústria 4.0, o que restringe sua utilização de forma mais ampla, entende-se então que o modelo não pode ser utilizado para todos os setores da empresa a fim de realizar uma avaliação de maturidade de forma generalizada, o que inviabiliza sua utilização se o foco da análise de maturação não for em termos de Logística 4.0.

2.3.3 Modelo de maturidade que combina operações inteligentes e gerenciamento de cadeia de suprimentos (OSCM)

De acordo com Caiado *et al* (2020) os modelos de maturidade são utilizados para definir em qual nível de maturidade a empresa avaliada se encontra, esclarecendo se a organização está pronta para iniciar o processo de desenvolvimento, assim os modelos de maturidade requerem a capacidade de se adaptar as características específicas da organização.

Os autores relatam que a uma falta de trabalhos empíricos sobre o desenvolvimento dos modelos de maturidade, e uma necessidade de modelos mais prescritivos e não descritivos, entre outras observações, o que justifica a necessidade do modelo proposto.

Uma abordagem que utiliza o sistema de inferência (FIS) é utilizada para minimizar avaliações que apresentam índices abaixo do ideal, alinhado a uma lógica *Fuzzy* específica seguida de um projeto de modelo, desenvolvido no momento das iterações, onde foram incluídos número de níveis, um descritor para cada nível, descrição genérica de cada nível, número de dimensões, número de perspectivas, um descritor para cada perspectiva, um grupo de indicadores para avaliar as perspectivas do OSCM, assim a cada iteração detalhamentos e melhorias eram realizadas no modelo (CAIADO *et al*, 2020).

A utilização de níveis de maturidade, segundo Caiado *et al* (2020), surgiram como indicação de alguns participantes, portanto, foi proposto um modelo evolutivo, que partisse do nível 0 e fosse até o nível 4, sendo nomeados então como: Inexistente, conceitual, gerenciado, avançado e auto otimizado. Outras modificações foram sendo realizadas durante o estudo, de acordo com os autores, como por exemplo, as dimensões e perspectivas, que após discussões de interesse ficam definidas em (dimensão: perspectivas): SCM: Cliente, Logística, Fornecedor; COMMON: Integração; POM: PPC, Qualidade, Manutenção; vale ressaltar que a ferramenta de avaliação do modelo deriva do desenvolvimento de uma taxonomia de indicadores de nível de prontidão digital (DRL).

Portanto, o modelo final, apresenta cinco níveis de maturidade e três dimensões dentro de sete perspectivas que combinam características tecnológicas e metodológicas, e proporcionam uma avaliação mais detalhada das informações e conjunto de indicadores, onde a pontuação é representada por uma escala de 0 a 100 por cento, distribuído proporcionalmente entre os cinco níveis, assim o modelo apresenta uma visão multi- perspectiva que permite uma avaliação holística das operações e da cadeia de abastecimento, por fim o novo modelo propõe avaliar a maturidade de fabricação I4.0 com base em um sistema especialista probabilístico difuso para superar a imprecisão e incerteza de modelos de maturidades anteriores, abordando a complexidade da percepção do nível de digitalização em OSCM (CAIADO *et al*, 2020).

Foi realizado uma avaliação em uma indústria aeronáutica brasileira, onde constatou-se pouca familiaridade com componentes da Indústria 4.0, estando mais focada em segurança cibernética, mas que de forma geral necessita de uma melhor exploração de seus recursos, aperfeiçoamento, implementações, e foca em área de importância para a empresa, apresentando 9/15 índices abaixo do esperado, sendo então a empresa classificada em um índice de maturidade nível 1 (conceitual), e que espera alcançar o nível 3 (avançado), necessitando passar

por dois ciclos de melhorias (CAIADO *et al*, 2020).

Pode-se observar um grande detalhamento no desenvolvimento do modelo descrito, o que de acordo com os autores busca sanar lacunas deixadas por outros modelos de maturidades, entretanto, no momento de aplicação não se deixa claro a classificação da empresa antes da aplicação do modelo, ou qual seria seu nível de maturidade avaliado por outros modelos, surgindo novas lacunas a serem observadas.

2.3.4 360 digital maturity assessment

A ideia de Indústria 4.0 pode ser de difícil compreensão para muitas organizações, o que pode dificultar sua transformação, visto ainda que cada organização é diferente tanto em requisitos, quanto em objetivos, e focando na área de transformações digitais, o modelo proposto por Colli *et al* (2018), basearam-se no modelo *Problem Based Learning* (PBL), que observa a necessidade de contextualização dentro da avaliação de maturidade. Os autores propõem o *360 Digital Maturity Assessment* (360DMA), que leva em conta uma série de outros modelos de maturidade digitais, como por exemplo, o modelo ACATECH.

Colli *et al* (2018) definiram a maturidade digital em seis estágios, 1) Nenhum; 2) Básico; 3) Transparente; 4) Ciente; 5) Autônomo; e 6) Integrado; sendo cada estágio compreendido como uma preparação para o estágio seguinte. Os autores ainda mapeiam as dimensões digitais em cinco áreas, Governança, Tecnologia, Conectividade, Criação de valor, e Competência, e dividem o processo de avaliação em cinco etapas sequenciais, a criação de consciência, definição do escopo, a coleta de dados, avaliação e seleção da solução, e *debriefing* que seria uma etapa de pós-discussão.

O 360DMA foi testado inicialmente em uma empresa dinamarquesa, que passou pela aplicação de todos o processo avaliativo, finalizado com o mapeando da empresa dentro dos diferentes estágios de maturidade e sugestões de pontos a serem explorados conforme os objetivos declarados pela empresa e de forma geral encaixou-se em um nível transparente (COLLI *et al*, 2018).

A empresa analisada pelo modelo 360DMA atua com recursos digitais, mas apesar de sua área de atuação foi categorizada em um nível de maturidade considerado baixo, visto os diversos pontos de melhorias citados pelos autores como importantes. O modelo apresentado levou em conta as particularidades e objetivos da empresa, definindo uma avaliação específica a organização em estudo, porém, apresenta-se adaptável a outras organizações de mesma área.

2.3.5 Avaliação do nível de maturidade de oito empresas no interior de São Paulo

O estudo foi realizado por Costa, Falcão e Gerolamo (2019), incentivados pela importância do tema “Indústria 4.0” na atualidade. Os autores realizaram um estudo que buscou identificar o posicionamento das empresas avaliadas, na indústria 4.0. Primeiramente foi realizada uma revisão literária a fim de identificar componentes relevantes a classificação quanto ao nível de maturidade da empresa com relação a Indústria 4.0, em seguida definiu-se dimensões a serem avaliadas a fim de propor-se um modelo de maturidade

As dimensões levadas em consideração para a proposta do modelo foram, Fábrica do futuro; Processos Inteligentes; Cultura; Pessoas; e Estratégia, em seguida os níveis foram definidos em: 1) Incerteza; 2) Despertar; 3) Esclarecimento; 4) Sabedoria; e 5) Certeza (COSTA; FALCÃO; GEROLAMO, 2019).

Elaborado um aferidor de maturidade Costa, Falcão e Gerolamo (2019) realizaram um teste piloto com pessoas de diferentes áreas de atuação, afim de verificar lacunas que pudessem ser corrigidas, relatar as empresas que participaram do teste o resultado individual, receber *feedback* sobre o grau de satisfação da avaliação e gerar um aferidor final de maturidade.

O estudo realizado no interior de São Paulo, com oito empresas de diferentes áreas de atuação propõe um modelo generalizado de aferição de maturidade para a implementação da indústria 4.0 onde constatou-se que cinco das oito empresas foram classificadas no nível 2, ou seja, começam a buscar conhecimento sobre o tema, duas apresentaram-se no nível 3, entende do assunto, mas não possui meios para aplica-lo e uma foi classificada no nível 4, possui conhecimento e começa a desenvolvê-lo (COSTA; FALCÃO; GEROLAMO, 2019).

O modelo proposto avalia por meio de um questionário, separado em dimensões definidas previamente, o nível de maturidade das empresas participantes do estudo, entretanto, é possível identificar lacunas referentes a essa proposta de modelo, pois não fica claro como os procedimentos foram adotados no teste piloto. Vale ressaltar que a avaliação feita foi um teste piloto do modelo, e que após sua aplicação alterações foram realizadas, o que podemos entender como um estudo que não buscou a aplicação de um modelo finalizado.

2.3.6 Modelo de maturidade de três estágios em PMEs para a indústria 4.0

A importância do conceito de Indústria 4.0 vem aumentando na cultura organizacional das empresas, e entender a importância do conceito para o mercado pode proporcionar uma visão de futuros mercados em crescimento para pequenas e médias empresas, orientação nesse

momento gera oportunidades valiosas (GANZARAIN; ERRASTI,2016).

Segundo Ganzarain e Errasti (2016), perceberam que uma abordagem direcionada a gestão de diversificação e crescimento para PMEs é necessária para enfrentar os desafios relacionados a Indústria 4.0, e para isso desenvolveram um modelo de processo de estágios para orientar e treinar empresas com foco na identificação de novas oportunidades, diversificando em áreas dentro da Indústria 4.0, proporcionando uma visão individual ecolaborativa entre diversos cenários da Indústria 4.0.

O modelo proposto é dividido em três estágios, chamados de: Visão 4.0; Habilitar roteiro 4.0; e Promulgar projetos 4.0; cada estágio proporciona a empresa um resultado e/ou proposta de desenvolvimento e orientação, e para implementação do cenário da Indústria 4.0, definiu-se uma escala de maturidade como: 1) Inicial; 2) Gerenciado; 3) Definido; 4) Transformar; e 5) BM Detalhado (GANZARAIN; ERRASTI, 2016).

De acordo com Ganzarain e Errast (2016), após a criação do modelo de maturidade, algumas organizações foram analisadas e encontravam-se no nível Inicial (1) de maturidade, que é descrito para empresas que não possuem uma visão da Indústria 4.0 específica da empresa, esclarecendo que para que o avanços nos níveis de maturidade sejam alcançados precisa-se adotar metas e práticas para o processo em cada nível.

A proposta do modelo fornece uma visão particular para PMEs e proporciona uma diversificação em áreas em busca de crescimento, entretanto, apesar de identificadas no nível um, não fica claro em qual estágio as organizações analisadas se encontram, nem em quais pontos nos conceitos de Indústria 4.0 precisam receber mais atenção.

2.3.7 Modelo de maturidade para manufatura inteligente

A competitividade sempre está presente no mercado, e traçar estratégias para que empresas se tornem ainda mais competitivas é contribuir para uma manufatura inteligente no cenário atual (LUNELLI; CECCONELLO, 2019).

De acordo com Lunelli e Cecconello (2016) o setor de manufatura passa por muitas mudanças tecnológicas, e melhorias nesse setor numa visão de Indústria 4.0 é necessário para se ter o que chamam de Manufatura inteligente, integrando máquinas por meio de sensores, tecnologias para comunicação, modelagem de dados, controle, simulação e engenharia preditiva, sendo IoT, sistemas *Cyber*-físicos, comunicação na nuvem, *Big Data*, manufatura aditiva, sensores, economia de energia, e holograma, tecnologias chaves para a implementação de manufatura inteligente.

Conhecendo as tecnologias chaves pode-se propor um modelo de maturidade para Manufatura Inteligente, que pode utilizar como base modelos propostos por outros autores, e utilizando níveis propostos na literatura, assim, observa-se que o modelo proposto substitui as tecnologias integração horizontal e vertical, e segurança digital, por gerenciamento e melhoria da eficiência energética e produtos inteligentes, avaliando então a tecnologia já citada e Sistemas ciber-físicos, Robôs industriais e colaborativos; IoT, Produtos Inteligentes, Simulação, *Big Data* e Analítico, Computação na nuvem, Manufatura Aditiva e Realidade Virtual e Aumentada (LUNELLI; CECCONELLO, 2019).

O modelo proposto conta com seis níveis de maturidade, que segundo Lunelli e Cecconello (2019), são definidos para cada tecnologia como: 0) Inexistente; 1) Realizado; 2) Gerenciado; 3) Estabelecido; 4) Previsível; 5) Otimizado; o modelo foi aplicado em uma empresa fornecedora de fundidos usinados para indústria automotiva pesada e máquinas agrícolas, onde observou-se que das dez tecnologias avaliadas, cinco encontram-se no nível 0, quatro no nível 1 e uma no nível 2, sendo de forma geral considerada pelos autores médio-baixo com pontuação sete de cinquenta.

O modelo é adaptado e baseado em modelos encontrados na literatura, e mesmo que proposto de forma diferenciada apresenta lacunas, entretanto, apesar de um resultado insatisfatório os autores acreditam que o modelo é útil para realizar diagnósticos e serve para desenvolver planos estratégicos e táticos para que a empresa avaliada possa alcançar o resultado esperado, a manufatura inteligente. Não se sabe em quais condições a empresa se encontra de forma generalizada, sendo o foco do estudo apresentado o setor de manufatura.

2.3.8 Avaliação do nível de maturidade de uma empresa estratégica de defesa

Analisando lacunas no meio acadêmico, Silva e Rocha (2020) sentiram a necessidade de um modelo que permitisse a avaliação do nível de maturidade de empresas de defesa no Brasil, seus estudos bibliográficos focam então em buscar referencial para se propor um modelo de maturidade em empresas de defesa no Brasil possam utilizar a fim de avaliar em que nível se encontram em um cenário de Indústria 4.0.

O modelo propõe seis perfis de maturidade da Indústria 4.0 com os níveis: 0) Outsider; 1) Iniciante; 2) Intermediário; 3) Experiente; 4) Especialista; 5) Alto desempenho; sendo os perfis definidos como: Estratégia e Organização (E&O); Fábrica Inteligente (FI); Operações Inteligentes (OI); Produtos Inteligentes (PI); Serviços Orientados por dados (SOD); e Funcionários (F); ainda definiu-se o nível de implementação da Indústria 4.0, categorizado

em: Recém- chegados (*newcomers*), sendo para empresas de nível 0 a 1; Aprendizes (*learners*), para empresas de nível 2; e Líderes (*leaders*) para empresas de nível 3 a cima (SILVA; ROCHA, 2020).

A empresa avaliada foi a Indústria de Material Bélico do Brasil (IMBEL), e na avaliação foram analisados três critérios: *status* da estratégia de implementação; operacionalização e revisão da estratégia através de um sistema de indicadores; e investimento; e após avaliação apresentou as médias E&O=2, FI=2, OI=1, PI=2, SOD=1, F=4, categorizada no nível de maturidade (2) Intermediário, atendendo aos critérios analisados (SILVA; ROCHA, 2020).

A avaliação realizada identifica um nível médio-baixo para o porte da empresa apresentada, e o estudo apresenta algumas lacunas identificadas pelos próprios autores, mas apesar do resultado é uma boa proposta visto que atende uma área pouca analisada na literatura.

2.3.9 Modelo de maturidade do processo de entrega 4.0

A logística compreende um setor de grande importância para a empresa, por movimentar não só o setor em particular, mas toda a indústria. De acordo com Felch, Asdecker e Sucky (2018) os tomadores de decisão precisam de ferramentas para apoiar o realinhamento, reconfiguração e renovação das capacidades na área da logística.

O modelo proposto apresenta cinco estágios que envolvem a digitalização, sendo eles: 1) Básico; 2) Entre departamentos; 3) Horizontal e vertical; 4) Cheio; e 5) Totalmente otimizado; se apresentando flexível na arquitetura de modelagem, possibilitando sua aplicação em outras cadeias de abastecimento, o modelo também conta com três dimensões de atividade: Processamento de pedidos (OP); Armazenamento (W); e Frete/Remessa (S); além de utilizar a escala Likert com os níveis: 0 = não implementado; 1 = parcialmente implementado; 2 = na maior parte implementado; e 3 = totalmente implementado (FELCH; ASDECKER; SUCKY, 2018).

Segundo Felch, Asdecker e Sucky (2018), o modelo foi aplicado em duas empresas de uma mesma fabricante multinacional, avaliando cada dimensão e suas subdivisões, negligenciando a parcela que não ocorre na fábrica, onde se constatou que em geral a fábrica A é mais madura que a fábrica B.

Podemos notar que a fábrica B apresenta 5 subdimensões a menos que a fábrica A, e que grande parte dos itens avaliados se encontram nos estágios 1 e 2. Os autores não expõem um nível geral para nenhuma das duas fábricas, apenas relatam que o estudo revelou baixos

níveis de maturidade quanto ao tema estudado, e apresentam muitas sugestões de melhorias para que as fábricas alcancem estágios mais altos.

2.4 Modelos de prontidão

Lichtblau *et al.* (2015), trata de modelos de prontidão como a disposição e a capacidade das empresas em implementar as ideias por trás do conceito da Indústria 4.0, definindo critérios através dos quais as empresas podem ser classificadas em 3 tipos: as “recém-chegadas”; as “aprendizes” e as “líderes”. Essa classificação foi baseada em 6 dimensões-chave da Indústria 4.0: estratégia e organização; fábrica inteligente; operações inteligentes; produtos inteligentes; serviços “*data-driven*” e empregados. Neste modelo, o autor definiu 6 níveis de prontidão: 1. Inexperiente 2. Iniciante 3. Intermediário 4. Experiente 5. Especialista 6. “Top Performer”.

Já para Sommer (2015), as dimensões estabelecidas para avaliar o grau de prontidão das empresas se baseiam tanto em aspectos técnico-econômicos, que estão relacionados com a abrangência da aplicação dos conceitos da indústria 4.0 tanto nas atividades primárias como de suporte; como em aspectos psicológicos, estes relacionados aos aspectos conceituais e das tecnologias envolvidas – familiaridade e nível de consciência da importância da Indústria 4.0 na visão da sua necessidade frente ao processo evolutivo da indústria. Ainda dentro dos níveis psicológicos estão as expectativas relacionadas às oportunidades e riscos que estão associados a aspectos motivacionais e desafiadores para efetiva imersão nos conceitos da Indústria 4.0.

Já Pacchini (2019) ao relatar o modelo de prontidão *Impuls* em empresas de engenharia no Brasil, diz que este modelo procura esclarecer incertezas e desafios através de alguns elementos e cada um deles classificados em níveis de prontidão de 0 a 6 (zero a seis), conforme mostra o Quadro 1.

Quadro 1- Dimensões e Níveis de Classificação do Modelo de Prontidão 4.0

QUADRO DE DIMENSÕES E CLASSIFICAÇÃO DO MODELO IMPULS		
DIMENSÃO	NÍVEL DE CLASSIFICAÇÃO	
Estratégia e Organização	0	FORA DE CLASSIFICAÇÃO
Fábrica Inteligente	1	INICIANTE
Operações Inteligentes	2	INTERMEDIÁRIO
Produtos Inteligentes	3	EXPERIENTE
Serviços Baseado em dados	4	ESPECIALISTA
Funcionários	5	MELHOR DESEMPENHO

Fonte: Pacchini (2019)

Ainda com base na análise de Sommer (2015) busca avaliar o nível de preparo de uma empresa nacional para a indústria 4.0 por meio do seu uso de tecnologias em atividades primárias (operações logísticas), atividades de suporte (investimento, processamento de dados e recrutamento), bem como sua familiaridade com o termo, expectativas (oportunidades e riscos), consciência sobre essa indústria. Contudo, na intenção de facilitar a aplicação da abordagem no contexto nacional, rearranjaram as dimensões nos seguintes elementos: aspectos conceituais, motivacionais, desafiadores, abrangência de aplicação e tecnologias envolvidas, formando assim o Quadro 2.

Quadro 2- Rearranjo e comparação das dimensões

DIMENSÕES PROPOSTAS	DIMENSÕES DE SOMMER (2015)
Aspectos Conceituais	Familiaridade com termo e conceito Indústria 4.0
Aspectos motivacionais	Oportunidades
Aspectos desafiadores	Riscos
Abrangência da aplicação	Atividades de suporte
Tecnologias envolvidas	Uso da tecnologia em atividades primárias

Fonte: Sommer (2015)

Entretanto, Pacchini (2019), ao realizar seu estudo abordando a literatura sobre modelos de prontidão, citou que a prontidão da manufatura inteligente tem três blocos de sustentação, sendo: a) processo, b) tecnologia e c) organização. Inseridos nestes blocos estão oito pilares, onde operações, cadeia de suprimentos e ciclo de vida do produto se inserem em processos; Já automação, conectividade e inteligência dizem respeito a tecnologia e por fim, talentos disponíveis e estruturas de gestão estão dentro do bloco da organização.

2.5 Tomada de decisão e modelagem multicritério

Tomada de decisão é algo presente em toda organização, em algum momento decisões precisam ser tomadas para melhor funcionamento e desenvolvimento da instituição. Já a tomada de decisão multicritério, em muitas situações busca orientar e auxiliar o momento de decidir, independente do ambiente, do número de objetos envolvidos, mesmo que ajam conflitos entre si (PRESSI, 2017).

Várias técnicas que auxiliam à tomada de decisões são empregadas em diversos estudos por buscarem indicar o melhor caminho, mas para que isso ocorra, os modelos tomam como base alguns critérios predefinidos, assim para cada técnica podemos identificar pontos

forte, pontos fracos e particularidades de sua aplicação (MÉLLO, 2019).

Segundo Pressi (2017), o processo de tomada de decisão em ambientes corporativos envolve fatores, recursos e variáveis que interagem, modificando a visualização que se tem do processo ao apresentarem cenários conflitantes, com riscos e incertezas, contudo, por se tratar de problemas complexos em uma linguagem simples deve-se considerar os principais elementos do processo decisório:

1. Decisor: quem faz a escolha do caminho a ser seguido;
2. Objetivos: o que se pretende alcançar com determinadas ações;
3. Critérios: utilizado para determinar suas preferências;
4. Estratégias: caminho escolhido, dependente dos recursos dispostos;
5. Estado da natureza: incertezas, riscos, ou certezas a enfrentar;
6. Resultado: consequência da estratégia.

Observando atentamente cada elemento, o responsável por tomar a decisão pode ponderar entre seus objetivos e avaliar a alternativa que traga os melhores resultados, entretanto, no processo decisório existem pessoas (atores) que podem influenciar e compõem esse cenário, assim toda a decisão tomada pelo decisor, ou, principal ator, é tomada com base em suas preferências (DANTAS, 2017).

No início do processo faz-se necessário a identificação dos atores e decisores, assim como se é necessário identificar o que será avaliado pelo modelo multicriterial, para então se definir qual o tipo de avaliação será realizado (PRESSI, 2017).

O uso individual ou em conjunto de diferentes técnicas e métodos de tomada de decisões, com objetivos específicos diversos são apresentados na literatura (MÉLLO, 2019). A literatura também apresenta uma divisão fundamentada em dois paradigmas, de acordo com Pressi (2017): o paradigma racionalista: utilizado em pesquisa operacional tradicional, e; o paradigma construtivista: utilizado em métodos multicritério de apoio à decisão.

Sendo o paradigma construtivista o fundamento de nosso interesse o autor ainda destaca as categorias: Elementar, que utiliza uma abordagem de tentativa e erro, e estrutura de programação matemática multiobjetivo; Com critério único de síntese, que defini uma função que procura agregar valores de cada alternativa, a cada critério; e a Sobreclassificação, que busca construir relações de sobreclassificações, que representem as preferências estabelecidas pelo decisor, e em seguida explorá-las de forma que o decisor possa chegar a solução do problema (PRESSI, 2017).

No estudo de caso apresentado por Venâncio e Brezinski (2017) expuseram a

necessidade de um sistema de avaliação do atual nível de maturidade tecnológica, em diferentes dimensões, podendo assim direcionar esforços organizacionais e responsáveis por mudanças significativas, propõe-se então uma plataforma em aplicativo móvel que utilizando o método de avaliação AHP (*Analytic Hierarchy Process*) avaliando os diferentes critérios relativos a Indústria 4.0, inferindo o nível de maturidade da empresa em estudo. Os autores utilizaram o modelo Capgemini alinhado ao AHP, e o algoritmo Go44 em comparação com o *Super Decisions*, concluindo que a indústria brasileira parece implementar vagarosamente os conceitos de Indústria 4.0 as suas linhas de produção. No estudo não é relatado qual o nível de maturidade identificado após a avaliação, assim como concluem que o Brasil parece estar entre os piores países para o desenvolvimento da quarta revolução industrial, necessitando de um guia de evolução tecnológica, justificando assim o estudo realizado e ressaltando pontos potenciais para futuras pesquisas.

Nascimento (2018) apresentou em seu estudo sobre a gestão de riscos de Tecnologia da Informação que buscou garantir uma gestão de riscos efetiva alinhada aos objetivos do negócio, sabendo disso, a avaliação continua dos níveis de maturidade da empresa é necessário, a fim de identificar pontos de melhoria e atenção, utiliza-se então o método ELECTRE TRI, que segundo a autora representou um diferencial no processo de avaliação de maturidade, pois sua utilização permitiu que os gestores pudessem tomar suas decisões embasadas, de forma clara e eficiente, agregando valores a sistematização do processo de avaliação de gestão de riscos.

Pressi (2017) realizou um estudo de caso, onde utilizou a Teoria da Utilidade Multiatributo (*Multi-Attribute Utility Theory – MAUT*) por suas diversas características, uma vez que o estudo foi voltado para a análise de características e desempenho dos circuitos alimentadores de distribuição de energia elétrica, portanto, após conhecimento do objetivo, e pesquisas com especialistas da empresa com experiência no setor elétrico e na área de planejamento, foram identificados 7 critérios e 16 subcritérios, utilizados no momento de aplicação do MAUT, o que permitiu a realização de um planejamento robusto, sendo possível alocar investimentos de forma mais eficaz, garantindo a qualidade no fornecimento de energia elétrica.

A escolha do método *Simple Multi-Attribute Rating Technique using Exploiting Rankings – SMARTER* por Caiado *et al* (2016), se deu pela priorização de um conjunto de critérios apresentados que atendia a busca dos autores por uma metodologia adequada para a seleção de estudos mais relevantes e aderentes ao tema pesquisado, onde identificou-se que com a metodologia de Revisão Sistemática da Literatura, alinhado a estruturação de preferência dos

decisores da pesquisa, podem existir diversas avaliações possíveis para selecionar os principais artigos de uma pesquisa. Ainda segundo os autores o método SMARTER mostrou-se muito eficaz na resolução do problema.

1.5.1 Método AHP

Para a realização da combinação linear de fatores, após serem padronizados, é necessário realizar a atribuição de pesos de importância para cada um dos mapas de fator gerado, dessa forma a técnica AHP tem sido muito usado.

O método AHP proposto por Thomas Saaty em 1978, considerada a mais relevante no processo de tomada de decisão, é uma técnica de comparação pareada, onde, em uma comparação dois a dois, é atribuído critério de importância relativa conforme descrito na escala fundamental de Saaty (Quadro 3) (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

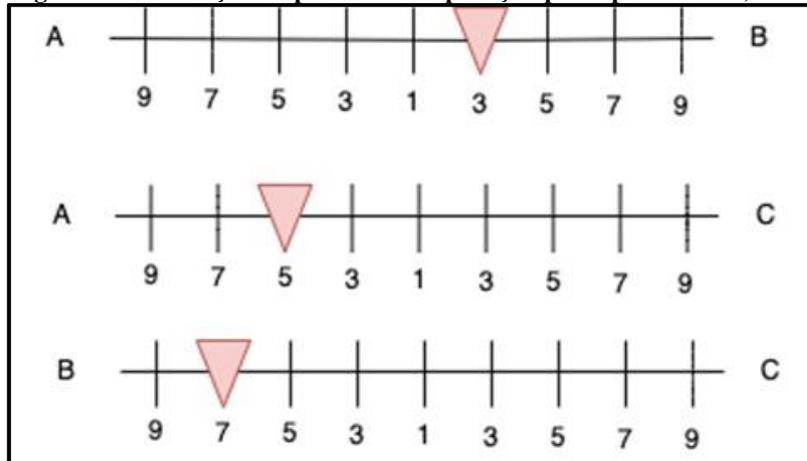
Quadro 3 - Escala fundamental de números absolutos

Grau de Importância	Definição	Explicação
1	Igual Importância	As duas atividades contribuem de forma igual para o objetivo
3	Moderada Importância	O julgamento favorece ligeiramente uma atividade em detrimento de outra
5	Forte Importância	Uma atividade, a partir de julgamentos e experiências, favorecem fortemente uma atividade em relação a outra
7	Muito forte ou relevante importância	Uma atividade é muito fortemente favorecida em detrimento de outra
9	Extrema importância	A evidência de favorecimento de uma atividade sobre outra é atestado com o mais alto grau de certeza
2,4,6,8	Valores intermediários	É aplicado quando se busca uma condição de compromisso entre duas definições

Fonte: Adaptado de Saaty (2008)

A comparação por pares funciona da seguinte maneira, suponha que haja uma comparação entre três itens A, B e C, caso o decisor preferir mais o item A do que B e atribuisse um peso entre 1 e 9 do lado direito, se preferir mais A a C marca um peso do lado esquerdo e caso prefira mais B do que C marca do lado esquerdo.

Figura 2 - Atribuição de pesos na comparação par a par entre A, B e C



Fonte: Adaptado de Teknomo (2006).

Com a definição de pesos é possível montar uma matriz de comparação, contendo três componentes onde o tamanho da matriz é 3x3, os componentes da diagonal principal sempre receberão o valor 1, uma vez que a comparação é feita com ele mesmo. Dessa forma, somente o preenchimento dos valores da triangular superior é necessário, seguindo as seguintes recomendações (TEKNOMO, 2006).

1. Caso o valor de julgamento esteja no lado esquerdo de 1, é feito o preenchimento com o valor do julgamento real;
2. Caso o valor de julgamento esteja no lado direito de 1, o preenchimento é feito com o valor recíproco;

O preenchimento da matriz triangular inferior é feito com os números recíprocos da matriz triangular superior, como é mostrado na Figura 3.

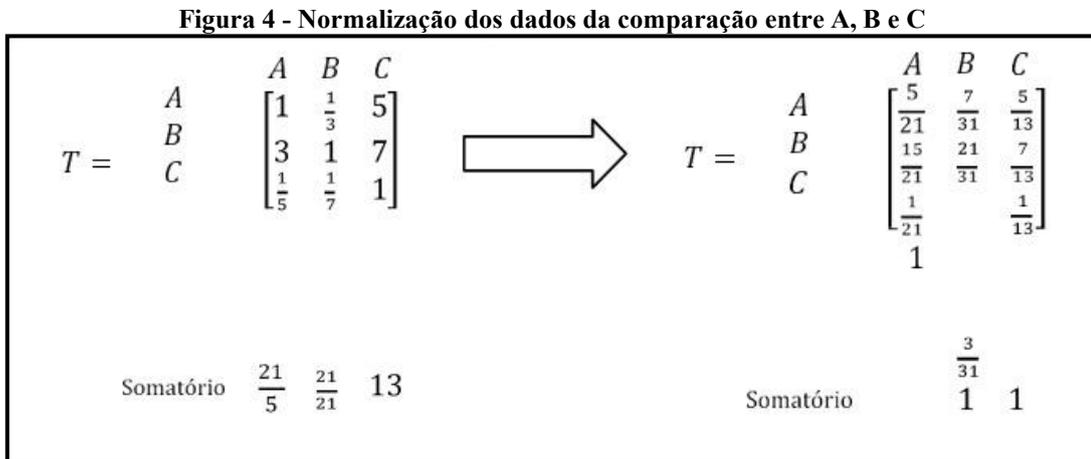
Figura 3- Matriz de comparação par a par entre A, B e C

$$T = \begin{matrix} & \begin{matrix} A & B & C \end{matrix} \\ \begin{matrix} A \\ B \\ C \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{3} & 5 \\ 3 & 1 & 7 \\ \frac{1}{5} & & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Fonte: Adaptado de Teknomo (2006)

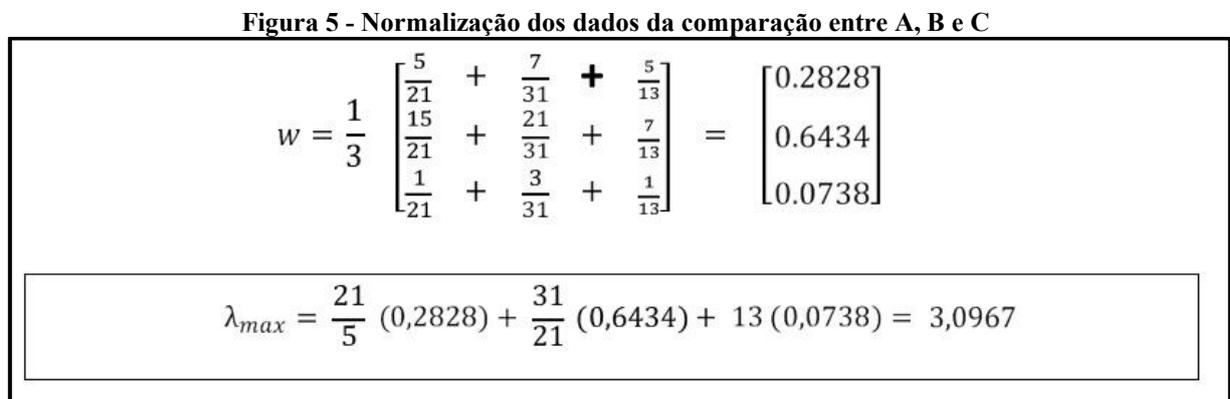
Após a montagem da matriz de comparação é necessário atribuir o vetor de pesos, para

tal, é realizado a normalização dos dados, em que, inicialmente é realizado a soma dos elementos de cada coluna e divide-se todos os elementos de cada coluna pelo seu somatório correspondente (Figura 4) (COSTA, 2019).



Fonte: Adaptado de Teknomo (2006)

O vetor dos pesos é obtido com a média das linhas dos dados normalizados, como mostrado na figura 5.



Fonte: Teknomo (2006).

Segundo Samizava *et al.* (2008), dependendo do conhecimento empírico do usuário, a atribuição de valores na comparação é subjetiva. Porém, se a matriz for consistente e os valores atribuídos forem coerentes, o processo tem grande representatividade. Para mensurar a consistência da matriz de julgamentos, Saaty (2008) propôs o Índice de Consistência (IC), descrito na equação abaixo:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1n}$$

Onde n é o número de fatores analisados e λ_{max} é o maior autovalor da matriz de julgamentos, oriundos a partir da soma dos produtos entre cada elemento do vetor de pesos e a soma das colunas da matriz recíproca.

Figura 6 - Cálculo do maior autovalor da matriz de julgamento

$T =$	<table style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">A</td> <td style="padding: 5px;">B</td> <td style="padding: 5px;">C</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">$\left[\begin{array}{ccc} 1 & \frac{1}{3} & 5 \\ 3 & 1 & 7 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{7} & 1 \end{array} \right]$</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Somatório</td> <td style="padding: 5px;">$\frac{21}{5}$</td> <td style="padding: 5px;">$\frac{21}{7}$</td> <td style="padding: 5px;">13</td> </tr> </table>	A	B	C	$\left[\begin{array}{ccc} 1 & \frac{1}{3} & 5 \\ 3 & 1 & 7 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{7} & 1 \end{array} \right]$			Somatório	$\frac{21}{5}$	$\frac{21}{7}$	13	$W = \frac{1}{3}$	<table style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">$\left[\begin{array}{ccc} \frac{5}{21} & + & \frac{7}{31} & + & \frac{5}{13} \\ \frac{15}{21} & + & \frac{21}{31} & + & \frac{7}{13} \\ \frac{1}{21} & + & \frac{3}{31} & + & \frac{1}{13} \end{array} \right]$</td> <td style="padding: 5px;">$=$</td> <td style="padding: 5px;">$\left[\begin{array}{c} 0.2828 \\ 0.6434 \\ 0.0738 \end{array} \right]$</td> </tr> </table>	$\left[\begin{array}{ccc} \frac{5}{21} & + & \frac{7}{31} & + & \frac{5}{13} \\ \frac{15}{21} & + & \frac{21}{31} & + & \frac{7}{13} \\ \frac{1}{21} & + & \frac{3}{31} & + & \frac{1}{13} \end{array} \right]$	$=$	$\left[\begin{array}{c} 0.2828 \\ 0.6434 \\ 0.0738 \end{array} \right]$
A	B	C														
$\left[\begin{array}{ccc} 1 & \frac{1}{3} & 5 \\ 3 & 1 & 7 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{7} & 1 \end{array} \right]$																
Somatório	$\frac{21}{5}$	$\frac{21}{7}$	13													
$\left[\begin{array}{ccc} \frac{5}{21} & + & \frac{7}{31} & + & \frac{5}{13} \\ \frac{15}{21} & + & \frac{21}{31} & + & \frac{7}{13} \\ \frac{1}{21} & + & \frac{3}{31} & + & \frac{1}{13} \end{array} \right]$	$=$	$\left[\begin{array}{c} 0.2828 \\ 0.6434 \\ 0.0738 \end{array} \right]$														

Fonte: Adaptado de Teknomo (2006)

Após obter o índice de consistência este deve ser comparado com o índice apropriado desenvolvido por Saaty, chamado de Índice de Consistência Randômico (RI).

Figura 7 - Índice de Consistência Randômico

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

Fonte: Teknomo (2006)

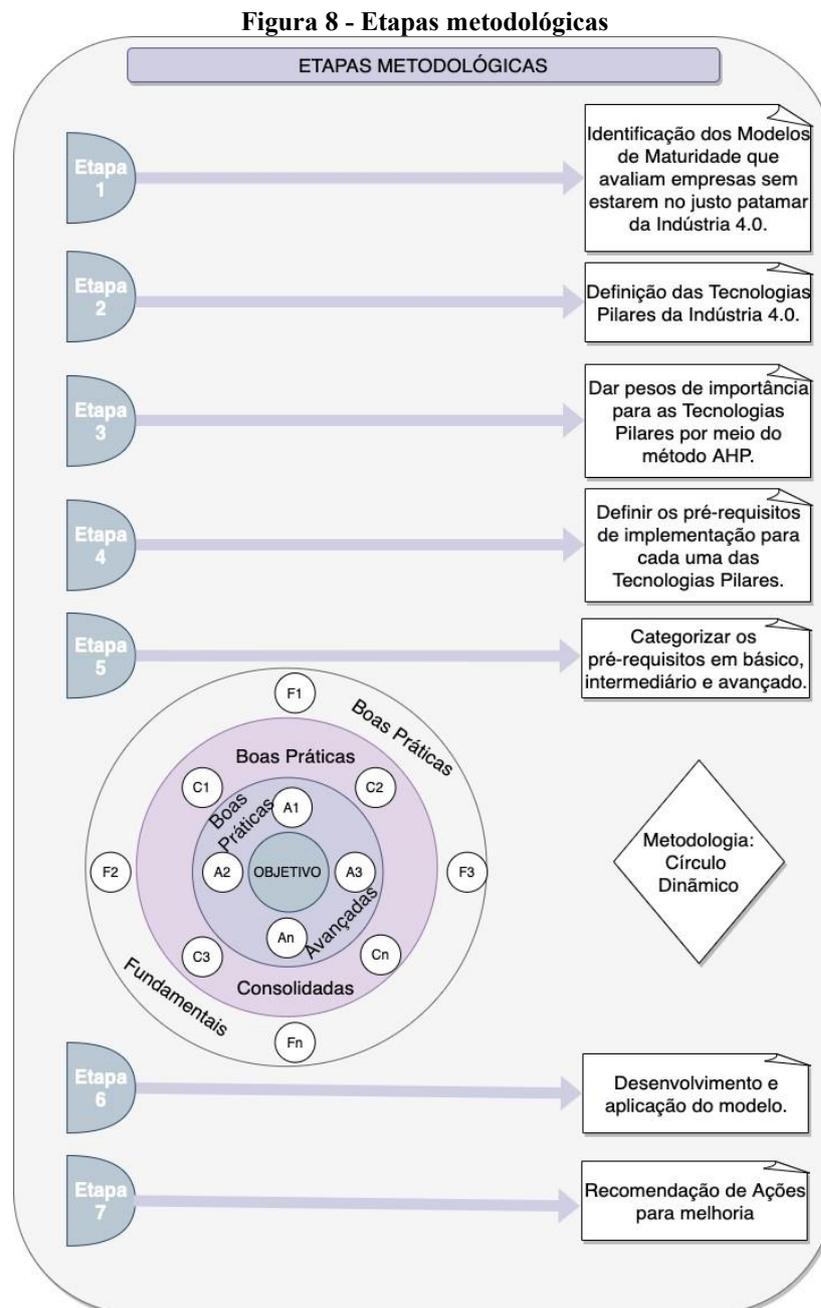
A comparação proposta por Saaty é chamada de Coeficiente de Consistência e é calculado da seguinte forma:

$$RC = \frac{IC}{RI}$$

Se o Coeficiente de Consistência for menor que 10% então a inconsistência é aceitável, do contrário os julgamentos dos critérios devem ser reavaliados (SAATY, 2008).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A Metodologia se refere a aplicação e utilização de procedimentos e técnicas utilizados para a construção do conhecimento, a fim de expor sua utilidade nos diferentes âmbitos da sociedade (PRODANOV; FREITAS, 2013). A metodologia utilizada para a elaboração desse trabalho, foi a pesquisa teórica ou bibliográfica, com a coleta de dados em publicações consultadas através da plataforma Scopus, Google Acadêmico, conforme Figura 8.



3.1 Etapa 1 - identificação dos modelos de maturidade que avaliam empresas sem estarem no justo patamar da indústria 4.0

Segundo Lugoboni (2017), A utilização de um método de avaliação com resultados insatisfatórios pode gerar muitas lacunas em uma pesquisa, abrindo ponto para que outros pesquisadores possam explorar.

Nessa etapa realizou-se a pesquisas na literatura e pôde-se verificar a má utilização dos modelos de maturidade no processo de avaliação de empresas para identificação do seu nível de maturidade e desenvolvimento como Indústria 4.0, assim como questionamentos não respondidos resultantes de dados insatisfatórios sobre o tema, como apresentado ao longo do item 2.3.

3.2 Etapa 2 - definição das tecnologias pilares da indústria 4.0

Nessa etapa recorreu-se as características mencionadas constantemente na literatura que estão relacionadas ao tema em estudo, para a escolha dos critérios de definição. Selecionou-se como critérios de avaliação as 8 tecnologias definidas por Chhetri *et al.* (2017), como pilares da indústria 4.0. Sendo elas: Cyber Physical System (CPS), Big Data, IoT (Intenet of Things), Computação em Nuvem, Manufatura Aditiva (AM), Robôs Colaborativos, Realidade Aumentada e Inteligência Artificial.

3.3 Etapa 3 - definição de pesos para os critérios

Após a definição dos critérios estabelecidos anteriormente, determinou-se o nível de importância que cada critério representa para a Indústria 4.0.

A definição de peso dos critérios reflete a importância de cada critério no momento da aplicação do método de avaliação, portanto, aplicou-se o método AHP para definir os pesos de cada critério. Em seguida, realizou-se a construção de uma matriz de decisão, onde uma especialista da área participou do preenchimento.

Na estruturação resultante da matriz de decisão, tivemos uma comparação par a par, a qual está apresentada no Apêndice III.

3.4 Etapa 4 - pré-requisitos para implementação das tecnologias pilares da indústria 4.0

Nessa etapa identificou-se os pré-requisitos para implementação de cada uma das 8 principais tecnologias, os quais estão apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 - Pré-requisitos para implementação das tecnologias pilares da Indústria 4.0

PILARES DA INDÚSTRIA 4.0	PRÉ-REQUISITOS
INTERNET DAS COISAS	Ter rede sem fio de alta velocidade e capacidade
	Ter sistemas de segurança da informação para evitar ataques cibernéticos
	Utilizar o Código Eletrônico do Produto
	Ter protocolo de comunicação M2M (<i>machine to machine</i>)
	Utilizar a tecnologia RFID
BIG DATA	Ter rede de comunicação para tráfego de grandes quantidade de dados;
	Ter pessoal habilitado para organizar e coletar dados
	Ter todos os seus dados/informações organizados e mantidos em sistemas digitais
	A empresa deve saber os problemas que deseja resolver com os dados obtidos;
COMPUTAÇÃO EM NUVEM	Ter conectividade com internet de alta velocidade e capacidade;
	Ter captação financeira para os investimentos em nuvem;
	Ter firewall para a segurança dos dados;
	Ter pessoal de TI preparado para novas tecnologias para computação em nuvem;
	Ter sistemas integrados para a garantia e interoperabilidade de seus processos;
SISTEMA FÍSICO CIBERNÉTICO	Ter conectividade com internet de alta velocidade e capacidade;
	Ter acesso a dados na nuvem;
	Ter uma estrutura física de computadores instalada;
	Ter sensores instalados nos objetos a serem conectados;
	Ter uma estrutura de análise de grandes quantidades de dados;
	Ter uma Arquitetura Orientada a Serviço (SOA).
ROBÔS COLABORATIVOS	Ter capacidade financeira;
	Fazer um trabalho psicológico com os humanos que trabalham com robôs colaborativos;
	Ter mão de obra treinada em robótica;
	Fazer um mapeamento minucioso do processo e da trajetória;
	Ter conhecimento das limitações dos robôs colaborativos;
REALIDADE AUMENTADA	A empresa deve levar em conta o ambiente de trabalho do operador;
	A empresa deve ter seus arquivos digitalizados;
	A empresa deve ter um mapeamento detalhado do processo;
	A empresa deve ter um estudo ergonômico das funções do operador;
	A empresa deve planejar quais dados podem ser compartilhados;
	A empresa deve ter um software adequado para a utilização do hardware;
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	A empresa deve ter capacidade financeira;
	A empresa deve ter estratégias e conhecimento prévio de AI;
	A empresa deve ter comunicação M2M;
	A empresa deve ter sensores nos equipamentos;
	A empresa deve ter as tecnologias habilitadoras digitais implantadas;
	A empresa deve ter segurança cibernética;

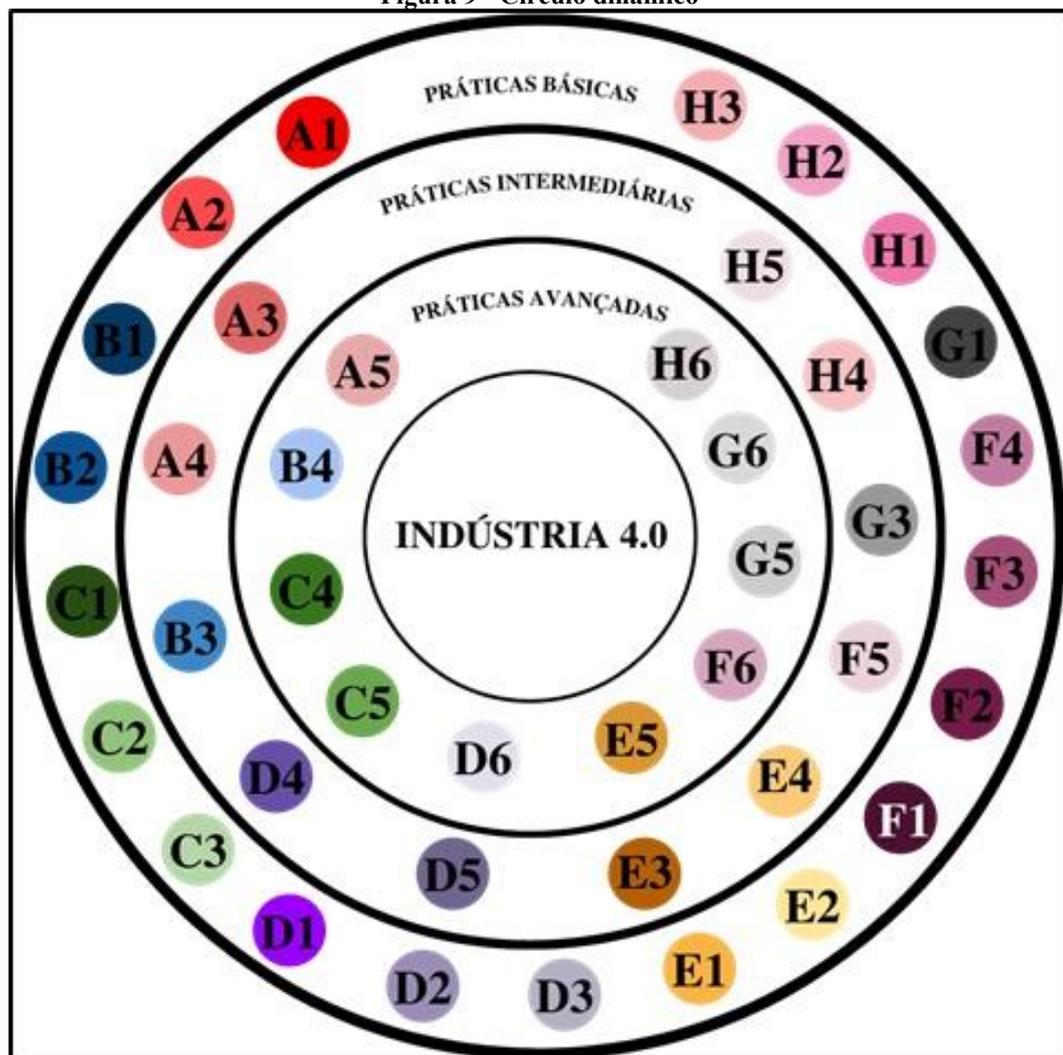
Fonte: Adaptado de Pacchini (2019)

3.5 Etapa 5 - categorização dos pré-requisitos

Todos os pré-requisitos foram categorizados em básicos, intermediários e avançados. Por meio desses dados, desenvolveu-se um círculo dinâmico, ilustrado na Figura 3, o qual é composto por três níveis, sendo eles, o círculo externo que é chamado de Boas Práticas Fundamentais, que devem ser desenvolvidos em primeiro lugar, o círculo central, denominado, Boas Práticas Consolidadas, necessário para o bom desenvolvimento do próximo nível, o círculo interno, chamado de Boas Práticas Avançadas (CUIGNET, 2006).

Esse círculo orienta as empresas em relação aos passos que elas devem seguir para implementar a realidade da Indústria 4.0.

Figura 9 - Círculo dinâmico



Fonte: Autoria própria (2021)

Quadro 5 - Gabarito do Círculo Dinâmico

(continua)

NOMENCLATURA DOS PILARES DA INDÚSTRIA 4.0	PILARES DA INDÚSTRIA 4.0	NOMENCLATURA DOS PRÉ-REQUISITOS	PRÉ-REQUISITOS	NÍVEL
A	INTERNET DAS COISAS	A1	Ter rede sem fio de alta velocidade e capacidade	Básico
		A2	Ter sistemas de segurança da informação para evitar ataques cibernéticos	Básico
		A3	Utilizar o Código Eletrônico do Produto	Intermediário
		A4	Ter protocolo de comunicação M2M (<i>machine to machine</i>)	Intermediário
		A5	Utilizar a tecnologia RFID	Avançado
B	BIG DATA	B1	Ter rede de comunicação para tráfego de grandes quantidade de dados;	Básico
		B2	Ter pessoal habilitado para organizar e coletar dados	Básico
		B3	Ter todos os seus dados/informações organizados e mantidos em sistemas digitais	Intermediário
		B4	A empresa deve saber os problemas que deseja resolver com os dados obtidos;	Avançado
C	COMPUTAÇÃO EM NUVEM	C1	Ter conectividade com internet de alta velocidade e capacidade;	Básico
		C2	Ter captação financeira para os investimentos em nuvem;	Básico
		C3	Ter firewall para a segurança dos dados;	Básico
		C4	Ter pessoal de TI preparado para novas tecnologias para computação em nuvem;	Avançado
		C5	Ter sistemas integrados para a garantia e interoperabilidade de seus processos;	Intermediário
D	SISTEMA FÍSICO CIBERNÉTICO	D1	Ter conectividade com internet de alta velocidade e capacidade;	Básico
		D2	Ter acesso a dados na nuvem;	Básico
		D3	Ter uma estrutura física de computadores instalada;	Básico
		D4	Ter sensores instalados nos objetos a serem conectados;	Intermediário
		D5	Ter uma estrutura de análise de grandes quantidades de dados;	Intermediário
		D6	Ter uma Arquitetura Orientada a Serviço (SOA).	Avançado
E	ROBÔS COLABORATIVOS	E1	Ter capacidade financeira;	Básico
		E2	Fazer um trabalho psicológico com os humanos que trabalham com robôs colaborativos;	Básico
		E3	Ter mão de obra treinada em robótica;	intermediário
		E4	Fazer um mapeamento minucioso do processo e da trajetória;	Intermediário
		E5	Ter conhecimento das limitações dos robôs colaborativos;	Avançado
	REALIDADE	F1	A empresa deve levar em conta o ambiente de trabalho do operador;	Básico

F	AUMENTADA	F2	A empresa deve ter seus arquivos digitalizados;	Básico
---	-----------	----	---	--------

Quadro 5 - Gabarito do Círculo Dinâmico

				(conclusão)
F	REALIDADE AUMENTADA	F3	A empresa deve ter um mapeamento detalhado do processo;	Básico
		F4	A empresa deve ter um estudo ergonômico das funções do operador;	Básico
		F5	A empresa deve planejar quais dados podem ser compartilhados;	Intermediário
		F6	A empresa deve ter um software adequado para a utilização do hardware;	Avançado
G	INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	G1	A empresa deve ter capacidade financeira;	Básico
		G2	A empresa deve ter estratégias e conhecimento prévio de AI;	Básico
		G3	A empresa deve ter comunicação M2M;	Intermediário
		G4	A empresa deve ter sensores nos equipamentos;	Intermediário
		G5	A empresa deve ter as tecnologias habilitadoras digitais implantadas;	Avançado
		G6	A empresa deve ter segurança cibernética;	Avançado
H	MANUFATURA ADITIVA	H1	Ter mão de obra capacitada	Básico
		H2	Avaliar as características das peças a serem produzidas	Básico
		H3	Levar em conta a sua capacidade técnica	Básico
		H4	Levar em conta o tempo de fabricação	Intermediário
		H5	Levar em conta a sua segurança contra ataques cibernéticos	Intermediário
		H6	Ter seus arquivos de peças digitalizados	Avançado

Fonte: Autoria própria (2021)

3.6 Etapa 6 - desenvolvimento do modelo para medir o grau de prontidão das empresas em relação a implementação das tecnologias da indústria 4.0

Primeiro, aplicou-se um questionário (Apêndice I) para identificar o nível médio de adoção de cada uma das 8 tecnologias citadas na seção 2.2. Com o objetivo de determinar o nível de disponibilidade dos pré-requisitos de cada tecnologia, utilizou-se uma estrutura similar à que a norma SAE J4000 usou para identificar as melhores práticas na implementação de uma operação enxuta. Essa norma considera seis elementos ideias para implementação da Manufatura Enxuta em uma empresa. Para definir o grau de adoção de cada um desses elementos, a norma determina um conjunto de componentes para cada um. No caso do presente trabalho, os elementos ideias serão as 8 tecnologias pilares e os componentes serão os pré-requisitos para adoção de cada tecnologia.

A norma J4000 sugere quatro possíveis respostas para cada pergunta feita para as

empresas, sendo elas: (L0) Nível 0 – o pré-requisito não está presente; (L1) Nível 1 – O pré-requisito não está presente, mas há estudos para realizar sua implementação; (L2) Nível 2 – o pré-requisito está praticamente adotado e (L3) Nível 3 – O pré-requisito está efetivamente implementado e apresenta bom desempenho. Além disso, vinculou-se a cada nível de adoção de determinado pré-requisito um dado número de pontos, estes descritos na Tabela 1.

Tabela 1- Exemplo de Arranjo de Valores

Valores	Pontos
L0	0
L1	1
L2	2
L3	3

Fonte: SAE J4000 (2001)

Dessa maneira, os pré-requisitos associados a cada tecnologia pilar foram verificados em duas empresas, por meio de entrevistas semiestruturadas, utilizando-se o formulário de avaliação apresentado no Apêndice I. No Quadro 6, tem-se um exemplo da tecnologia IoT com um de seus pré-requisitos e os níveis de avaliação.

Quadro 6 - Exemplo de Estruturação de Formulário

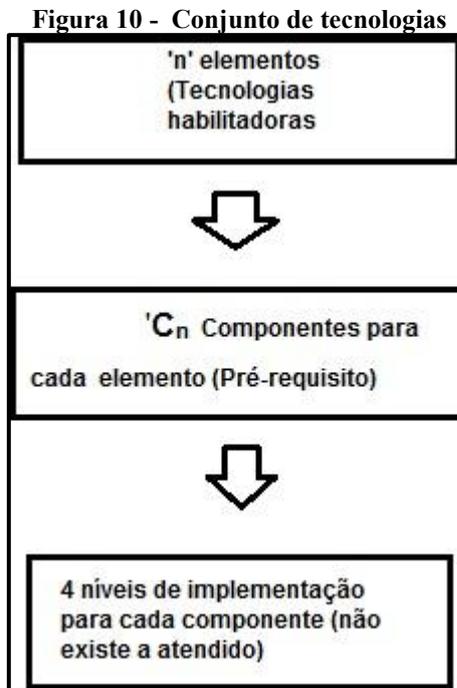
Elemento 1 / Tecnologia Pilar 1 – Internet das Coisas
Pré-requisito - Ter rede sem fio de alta velocidade e capacidade.
Níveis de implementação
L0 - A empresa não tem rede sem fio.
L1 - A empresa tem rede sem fio com capacidade e velocidade limitada
L2 - A empresa tem rede sem fio com capacidade e velocidade, no entanto, ainda insuficiente para operar as tecnologias da Indústria 4.0
L3 - A empresa tem rede sem fio de alta capacidade e de alta velocidade.

Fonte: Adaptado de Pacchini (2019)

Dessa forma, para verificar o grau de implementação de cada pré-requisito em uma empresa, determinou-se, através de entrevistas, qual dos 4 níveis (L0, L1, L2 ou L3) melhor representa a situação atual da empresa em relação às tecnologias pilares da Indústria 4.0.

Sendo assim, o conjunto das tecnologias pilares da Indústria 4.0 foi composto de “n” elementos. Para representar o atendimento a esses elementos, os pré-requisitos foram utilizados como componentes “cm” para cada um dos “n” elementos, que representam os pré-requisitos

necessários de cada tecnologia pilar para que a empresa esteja preparada para a implementação da Indústria 4.0. Ilustrou-se a estrutura aqui sugerida na figura 10, apresentada abaixo.



Fonte: Adaptado de Pacchini (2019)

3.7 Definição do grau de adoção de cada tecnologia pilar

Baseando-se no trabalho de Lucato *et al.* (2012), para medir o grau de prontidão de uma empresa em relação a cada tecnologia pilar (t), sugere-se estabelecer o nível de disponibilidade dos pré-requisitos (componentes).

Então, para cada pré-requisito “t” haverá um conjunto de “p” níveis de adoção, um para cada opção de resposta, que Johnson e Wichern (2017) condensaram em um vetor de resultados, conforme apresentado abaixo:

$$r_t = [3, 0, 2, \dots, 1]$$

Para estabelecer o nível médio de adoção de uma tecnologia pilar (d_t), basta dividir a somatória dos pontos conseguidos na avaliação dos pré-requisitos pela somatória do máximo de pontos possíveis para essa mesma avaliação, como proposto por Lucato *et al.* (2012):

$$d_t = \frac{\sum \text{dos pontos obtidos na avaliação dos elementos "t"}}{\sum \text{dos pontos máximos possíveis para os componentes do elemento "t"}}$$

Para melhor compreensão, abaixo tem-se um exemplo de aplicação. Supondo que na avaliação dos pré-requisitos para a implementação da Indústria 4.0 para uma certa tecnologia pilar (t1), o vetor de resultados, ou seja, a resposta da entrevistada para cada pré-requisito da tecnologia pilar, tenha sido:

$$r_{t1} = [1, 2, 3, 1, 1]$$

Logo, pela abordagem proposta por Lucato *et al.* (2012), o grau de adoção da tecnologia t1 poderá ser calculado como:

$$d_{t1} = \frac{1 + 2 + 3 + 1 + 1}{3 + 3 + 3 + 3 + 3} = \frac{8}{18} = 0,533 \text{ ou } 53,3$$

Desta forma, pode-se dizer que, com relação à tecnologia t1, a empresa analisada atende 53,33% dos pré-requisitos dessa tecnologia pilar.

Para determinar se esse grau de adoção da tecnologia é baixo, médio ou alto, empregou-se a norma ISO/IEC 15504-5, direcionada para as boas práticas da Engenharia de *Software*. Ela considera seis níveis de capacidade, os quais foram adaptados para representar as dimensões do grau de adoção conforme o Tabela 2, apresentada abaixo:

Tabela 2 - Dimensões de tecnologia

Dimensão	Grau de Adoção (%)
Embrionária	0 a 10%
Inicial	10 a 25%
Primária	25 a 50%
Intermediária	50 a 75%
Avançada	75 a 90%
Pronta	90 a 100%

Fonte: Adaptado de Lucato *et al.* (2012)

Embrionária: nesta dimensão a empresa não implementou nenhum dos pré-requisitos. Existe pouco interesse pelas tecnologias pilares da Indústria 4.0.

Inicial: poucos pré-requisitos começam a aparecer nesta dimensão e caso haja algum pré-requisito atendido integralmente, os demais estão em nível de implementação, mas ainda não existentes.

Primária: A empresa começa a voltar sua atenção às tecnologias habilitadoras e nesta dimensão algumas tecnologias começam a ser consideradas pela empresa, esta, estando com ao menos cinco de seis pré-requisitos em nível de implantação.

Intermediária: A empresa já entendeu a importância das ferramentas digitais, as tecnologias já estão identificadas e iniciam-se estudos mais profundos para o desenvolvimento de tecnologias organizacionais.

Avançada: A alta administração da empresa já tomou consciência sobre estar pronta para a Indústria 4.0 e, nesta dimensão as tecnologias estão avançadas, estando em parte, com nível de implementação máximo e os demais, praticamente implementados.

Pronta: Nesta dimensão as tecnologias são consideradas prontas e ao menos cinco dos seis pré-requisitos devem estar totalmente atendidos (PACCHINI, 2019).

À vista disso, com relação a tecnologia t1, que apontou um grau de adoção de 53,33%, pode-se dizer que essa tecnologia está na dimensão intermediária.

3.8 Etapa 7 – medição do grau de prontidão da empresa

Na etapa anterior medimos o grau de adoção das tecnologias, baseando-se em seus pré-requisitos. Nessa etapa propõe-se uma forma de medir o grau de prontidão de uma empresa.

Para isso, considere uma empresa a qual deseja-se determinar o grau de prontidão para a implementação da indústria 4.0, sejam t1, t2, t3, ..., tn as “n” tecnologias pilares analisadas. Considera-se que para cada uma dessas tecnologias tenham sido estabelecidos os respectivos graus de adoção em relação aos seus pré-requisitos. Sejam eles: dt1, dt2, dt3 ..., dtn

À vista disso, pode-se determinar o grau de adoção de uma determinada tecnologia pilar (di) para o grau de prontidão da empresa como um todo seja:

$$Dt_i = d_i * f_i$$

Condição a qual se aplica para todas as outras tecnologias:

$$D_R = (d_1 * f_1) + (d_2 * f_2) + (d_3 * f_3) + \dots + (d_n * f_n)$$

Ou,

$$D_R = d_1 * f_1 + d_2 * f_2 + d_3 * f_3 + \dots + d_n * f_n = \sum d_i * f_i$$

Onde;

- D = Grau de prontidão para a implementação da Indústria 4.0 em uma empresa industrial
- d_i = Grau de adoção da tecnologia t_i
- f_i = Grau de importância da tecnologia
- n = número de tecnologias pilares considerados

Definiu-se as dimensões do grau de prontidão, semelhantes aos adotados para as tecnologias, as quais estão descritas no Quadro 7, apresentado abaixo.

Quadro 7 - Características de análise de prontidão

Grau de Prontidão %	Dimensão	Características
0 a 10	Embrionária	Algum conhecimento de apenas uma tecnologia, ignorando as demais.
10 a 25	Inicial	Algum conhecimento das tecnologias, mas desconhecimento de outras.
25 a 50	Primária	Conhecimento de tecnologias, porém nem todas estão iniciadas.
50 a 75	Intermediária	Conhecimento de todas as tecnologias e todas já foram iniciadas
75 a 90	Avançada	Conhecimento de todas as tecnologias e todas elas contendo alto grau de adoção.
90 a 100	Pronta	Praticamente todas as tecnologias implantadas e operando.

Fonte: Adaptado de Pacchini (2019)

As empresas só estão prontas para serem medidas por modelos de maturidade estando na dimensão avançada e pronta, com grau de prontidão entre 75 a 100%.

3.9 Etapa 8 - recomendação de ações para melhoria

Nessa etapa pretende-se realizar a análise dos resultados obtidos, apresentando, se for o caso, mais de um cenário de aplicação, a fim de propor uma discussão sobre os resultados após a aplicação da proposta desenvolvida. Pretende-se também verificar qual a visão do decisor no processo de aplicação da modelagem multicritério. Na discussão espera-se também que as informações reunidas e analisadas possam influenciar em alterações positivas e posteriormente em resultados satisfatórios que se pretende expor no resultado desse trabalho.

4 APLICAÇÃO

Para a condução desse estudo optou-se por utilizar uma abordagem qualitativa por meio de um estudo de caso. O caso selecionado para a condução do estudo é o de uma instituição de abate e processamento de aves, com um quadro de 2600 funcionários operando em 2 turnos de produção e 1 turno de higienização, com foco em mercado externo. De toda a produção, 60% é destinada ao mercado externo, e a produção diária está em torno de 450 toneladas de processamento de aves e 80 toneladas de produção de processados (salsicha), também dedicados ao mercado externo, principalmente África e Oriente Médio.

Foi feita uma entrevista semiestruturada, com Coordenadora Administrativa da empresa, a qual respondeu o questionário que está apresentado no apêndice. Com as respostas do questionário aplicado, pôde-se medir o grau de adoção de cada tecnologia pilar.

Em relação à tecnologia Internet das Coisas, a empresa possui rede sem fio, porém, com capacidade e velocidade limitada. Não utiliza código eletrônico do produto, não tem protocolo de comunicação entre máquinas e não usa a tecnologia RFID. Porém, já opera com sistemas de segurança da informação.

$$r_{t1} = [1, 3, 0, 0, 0]$$

$$d_{t1} = \frac{1 + 3 + 0 + 0 + 0}{3 + 3 + 3 + 3 + 3} = \frac{4}{15} = 0,266 \text{ ou } 26,67\%$$

Em relação à tecnologia Big Data, a empresa tem rede de comunicação para tráfego de grandes quantidades de dados, grande parte de seus dados estão organizados e mantidos em sistemas digitais, já tem definido o que deseja resolver com os dados coletados, porém, apenas uma pequena parte do pessoal estão habilitados para coletar e analisar esses dados.

$$r_{t2} = [3, 1, 2, 2,]$$

$$d_{t2} = \frac{3 + 1 + 2 + 2}{3 + 3 + 3 + 3} = \frac{8}{12} = 0,6667 \text{ ou } 66,67 \%$$

Em relação à tecnologia Computação em Nuvem, a empresa possui poucos funcionários preparados para essa tecnologia, mas possui captação financeira para investir nessa

tecnologia, possui rede sem fio, porém, com capacidade e velocidade limitada. Possui sistemas de segurança das informações em plena operação e ainda está estudando a viabilidade de inserir sistemas integrados para garantir a interoperabilidade de seus processos.

$$r_{t3} = [1, 1, 1, 2, 3]$$

$$d_{t3} = \frac{1 + 1 + 1 + 2 + 3}{3 + 3 + 3 + 3 + 3} = \frac{8}{15} = 0,5333 \text{ ou } 53,33 \%$$

Em relação à tecnologia Sistema Físico Cibernético, a empresa já possui computação em nuvem, tem infraestrutura de computadores, porém ainda não tem uma Arquitetura Orientada a Serviço.

$$r_{t4} = [1, 3, 3, 3, 0, 0]$$

$$d_{t4} = \frac{1 + 3 + 3 + 3 + 0 + 0}{3 + 3 + 3 + 3 + 3 + 3} = \frac{10}{18} = 0,5556 \text{ ou } 55,56 \%$$

Em relação à tecnologia Robôs Colaborativos, a empresa possui poucas pessoas preparadas para essa tecnologia, não possui conhecimento sobre as limitações dos robôs colaborativos e possui capacidade financeira limitada para investimentos nesta área.

$$r_{t5} = [1, 0, 1, 2, 0]$$

$$d_{t5} = \frac{1 + 0 + 1 + 2 + 0}{3 + 3 + 3 + 3 + 3} = \frac{4}{15} = 0,2667 \text{ ou } 26,67 \%$$

Em relação à tecnologia Realidade Aumentada, a empresa não possui nenhum software de realidade aumentada, não leva em conta o ambiente de trabalho do operador e apenas uma parte de seus processos são mapeados detalhadamente.

$$r_{t6} = [0, 2, 2, 3, 0, 0]$$

$$d_{t6} = \frac{0 + 2 + 2 + 3 + 0 + 0}{3 + 3 + 3 + 3 + 3 + 3} = \frac{7}{18} = 0,3889 \text{ ou } 38,89 \%$$

Em relação à tecnologia Inteligência Artificial, a empresa não tem conhecimento prévio dessa tecnologia e não possui comunicação entre máquinas. Porém, já tem sensores instalados em alguns equipamentos, possui segurança cibernética e ampla capacidade financeira para investir nessa tecnologia.

$$r_{t7} = [2, 0, 0, 2, 0, 3]$$

$$d_{t7} = \frac{2 + 0 + 0 + 2 + 0 + 3}{3 + 3 + 3 + 3 + 3 + 3} = \frac{7}{18} = 0,3889 \text{ ou } 38,89 \%$$

Em relação à tecnologia Manufatura Aditiva, o levantamento de sua capacidade técnica está em processo, possui sistemas de segurança da informação em plena operação, porém, poucos funcionários estão preparados para essa tecnologia.

$$r_{t8} = [1, 2, 2, 3]$$

$$d_{t8} = \frac{1 + 2 + 2 + 3}{3 + 3 + 3 + 3} = \frac{8}{12} = 0,6667 \text{ ou } 66,67 \%$$

Tabela 3 - Adoção das tecnologias pilares pela empresa

		Pré-requisitos						
	Tecnologias Pilares	1	2	3	4	5	6	Adoção
1	IoT	1	3	0	0	0	-	0,2667
2	Big Data	3	1	2	2	-	-	0,6667
3	Computação em Nuvem	1	1	1	2	3	-	0,5333
4	Sistema Físico Cibernético	1	3	3	3	0	0	0,5556
5	Robôs Colaborativos	1	0	1	2	0	-	0,2667
6	Realidade Aumentada	0	2	2	3	0	0	0,3889
7	Inteligência Artificial	2	0	0	2	0	3	0,3889
8	Manufatura Aditiva	1	2	2	3	-	-	0,6667

Fonte: Autoria própria (2021)

Já com a modelagem matemática aplicada as tecnologias pilares, parte-se para a modelagem do grau de prontidão da empresa, embasados pela equação abaixo:

$$D = (d_1 * f_1) + (d_2 * f_2) + (d_3 * f_3) + (d_4 * f_4) + (d_5 * f_5) + (d_6 * f_6) + (d_7 * f_7) + (d_8 * f_8)$$

Na equação, f representa os graus de importância de cada tecnologia que foram descobertos pelo método AHP. A Internet das Coisas é a tecnologia com maior peso, com 27,73%, em segundo o Big Data com 20,63% e as demais com menor peso de importância (Tabela 4).

Tabela 4 - Pesos de importância atribuídos a cada tecnologiaa

Tecnologias Pilares	Peso (%)
Internet das Coisas	27,73
Big Data	20,63
Computação em Nuvem	14,57
Sistema Físico Cibernético	11,32
Robôs Colaborativos	9,52
Realidade Aumentada	4,69
Inteligência Artificial	3,11
Manufatura Aditiva	8,42

Fonte: Autoria própria (2021)

O coeficiente de consistência dos valores encontrados para este estudo ficou em 4,51 %, portanto, menor que 10%, considerado adequado segundo Saaty (2008). Os resultados foram: $f_1 = 0,2773$; $f_2 = 0,2063$; $f_3 = 0,1457$; $f_4 = 0,1132$; $f_5 = 0,0952$; $f_6 = 0,0469$; $f_7 = 0,0311$; $f_8 = 0,0842$.

Tabela 5 - Valores aplicados à equação para determinação do grau de prontidão

dI	fI	$(dI * fI)$
0,2667	0,2773	0,0739
0,6667	0,2063	0,1375
0,5333	0,1457	0,0777
0,5556	0,1132	0,0630
0,2667	0,0952	0,0253
0,3889	0,0469	0,0182
0,3889	0,0311	0,0120
0,6667	0,0842	0,0561
		Total = 0,4637

Fonte: Autoria própria (2021)

Portanto, o grau de prontidão da empresa analisada é 46,37%, o que caracteriza estar na dimensão primária, a empresa conhece algumas das tecnologias pilares, porém nem todas estão iniciadas. Nesse caso, a empresa ainda não está pronta para ser avaliada por um modelo de maturidade. Sendo assim, sugere-se às seguintes ações de melhorias:

- Instalar rede sem fio com alta velocidade e capacidade;
- Ter pessoal treinado e habilitado para trabalhar com cada uma das tecnologias pilares da Indústria 4.0;
- Utilizar o Código Eletrônico do Produto;
- Ter protocolo de comunicação entre máquinas;
- Utilizar a tecnologia RFID;
- Ter rede de comunicação para tráfego de grandes quantidades de dados;
- Treinar funcionários para organizar e coletar dados;
- Planejar quais dados podem ser compartilhados;
- Organizar e manter todos os seus dados em sistemas digitais;
- Ter sistemas integrados para garantir a interoperabilidade de seus processos;
- Ter firewall para segurança dos dados;
- Investir em mão de obra treinada para robótica;
- Fazer um mapeamento minucioso de todos os processos da empresa;
- Instalar sensores em seus equipamentos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este estudo, para verificar o grau de implementação de cada pré-requisito em uma empresa, determinou através de entrevistas, qual dos 4 níveis (10, 11, 12 ou 13) melhor representa a situação atual da empresa em relação às tecnologias pilares da indústria 4.0.

Com base nos levantamentos realizados através do questionário aplicado à empresa (constantes no apêndice I e II), pode-se elaborar a linha de raciocínio ao focar no fato que a empresa pesquisada neste estudo está num nível primário de prontidão, e, todavia, precisa adotar ou se adiantar na adoção/implementação de tecnologias habilitadoras faltantes, muitas delas básicas e necessárias.

Pacchini (2019) citou em sua tese que seus resultados de prontidão “foram proporcionais ao porte da empresa”, entretanto, o mesmo não generaliza e isso corrobora o fato de que como visto neste estudo, o grau de prontidão da empresa objeto da pesquisa está num local altamente desproporcional a seu porte. Mas, para que haja resultados melhores e mais ricos em dados, a sugestão é que se amplie o estudo para outras empresas do mesmo ramo (corte e processamento de aves) para comparação de resultados e graus de prontidão e tecnologias habilitadoras disponíveis.

Assim, os objetivos propostos no início desta dissertação foram elucidados e fica claro, inclusive, a necessidade premente de galgar degraus para habilitação de tecnologias para obtenção de qualificações para uma Indústria 4.0 uma vez que a maior parte de seu capital provém do mercado externo, mercado esse mais rígido que o mercado nacional.

Outro ponto a se levantar, levando em consideração o que foi obtido como prontidão é a falta de recursos para a aferição do grau de maturidade desta empresa, uma vez que há a necessidade de ter uma boa prontidão para a recepção de tecnologias habilitadoras que elaborem a perspectiva de maturidade e esta possa ser transformada em números. O quão preparada tecnologicamente esta empresa se encontra para que possa receber tecnologias e estar em um nível de maturidade considerado bom para seu porte? Este é o principal questionamento que este estudo evidenciou.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como propósito responder a lacuna identificada na literatura, e desenvolver um modelo adequado para a avaliação do grau de prontidão de empresas rumo a implementação da Indústria 4.0. Uma vez que, foi percebido que empresas são avaliadas por modelos de maturidade sem estarem em um justo patamar para essa avaliação. A partir do estudo desenvolvido foi possível medir o quão preparada uma indústria está em relação às tecnologias pilares da Indústria 4.0.

Dessa forma, a partir da análise dos resultados obtidos, bem como, da atribuição de pesos por especialistas, pôde nortear-se e priorizar áreas com a finalidade de melhorar seu nível de prontidão.

Em relação a aplicação do modelo desenvolvido, o grau de prontidão da empresa analisada apresentou um resultado inferior ao seu porte e ao resultado esperado, estando na dimensão primária de prontidão, com um grau em porcentagem de 46,37%.

No questionário respondido constante no apêndice II, nota-se que tecnologias consideradas básicas ainda não estão implementadas e desta forma, o desafio está em como avaliar a maturidade se o grau de prontidão não responde de forma equilibrada, ficando um hiato que deve ser alvo de implantação de tecnologias que possam elevar a prontidão para que assim possa ser avaliada por um modelo de maturidade.

A principal contribuição desta pesquisa é a facilidade de manuseio do modelo na medição do grau de prontidão de uma indústria. Este modelo se diferencia de modelos que propuseram avaliar o nível de maturidade, pois o grau de prontidão representa o desenvolvimento de um estágio anterior. Ou seja, permite dizer se a empresa está pronta ou não para ser medida por um modelo de maturidade.

Para a comunidade acadêmica traz a contribuição da proposição de uma abordagem conceitual que permite a coleta de dados sobre o estado de desenvolvimento das tecnologias pilares em empresas de diferentes setores. O presente estudo traz uma contribuição para o contexto social, pois apresenta para a sociedade o que é indústria 4.0 bem como as melhorias que essa revolução trará para a sociedade.

Esse trabalho dá mais visibilidade à importância da implementação do contexto da indústria 4.0, o que estimula o desenvolvimento de conceitos praticáveis para a Indústria 4. Sugere-se para trabalhos futuros, que o modelo aqui desenvolvido seja ampliado para um comparativo de indústrias do mesmo ramo e porte para tabulação dos dados e comparação de resultados.

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, J. G.; PINTO, A. P. S., REIS, P. M. N.; HENRIQUES, C. M. R.. A Indústria 4.0 e o seu Impacto no Tecido Económico Empresarial Português: O Caso da Região Dão-Lafões. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental*, v. 8, n. 3, p 263 – 291, 2019.
- AZEVEDO, M. T. DE. **Transformação Digital na Indústria: Indústria 4.0 e a Rede de Água Inteligente no Brasil**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos, versão corr., 177p. São Paulo, 2017.
- BAUER, E. *et al.* **Towards a security baseline for IaaS-cloud back-ends in Industry 4.0**. 2017 12th International Conference for Internet Technology and Secured Transactions. Anais...Cambridge. 2018.
- CAIADO, R. *et al.* **Metodologia de revisão sistemática da literatura com aplicação do método de apoio multicritério à decisão SMARTER**. Congresso Nacional de Excelência em Gestão – XII. II INOVARSE – Responsabilidade social Aplicada, 2016.
- CAIADO, R. G. G.; *et al.* A fuzzy rule-based industry 4.0 maturity model for operations and supply chain management. **International Journal of Production Economics. Journal Pre-proof**, 2020.
- CARVALHO, E. S. S.; FILHO, Nemésio Freitas Duarte. Proposta de um Sistema de aprendizagem móvel com foco nas características e aplicações práticas da indústria 4.0. **RISTI – Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información**, n. 27, p 36-51, 2018.
- CHENG, Y.; CHEN, K.; SUN, H.; ZHANG, Y.; TAO, F. Data and Knowledge Mining Big Data towards Smart Production. **Journal of Industrial Information Integration**, 2017.
- CHHETRI, S. R.; RASHID, N.; FAEZI, S.; AL FARUQUE, M. A. Security Trends and Advances in Manufacturing Systems in the Era of Industry 4.0. **IEEE**, p. 1039-1045, 2017.
- CIARAMELLA, A.; CELANI, A. Industry 4.0 and manufacturing in the city: a possible vertical development. **TECHNE 17 – Journal of Technology for Architecture and Environment**, p. 133 – 142, 2019.
- COLLI, M. *et al.* Contextualizing the outcome of a maturity assessment for Industry 4.0. **International Federation of Automatic Control**, p. 51-11, 2018.
- COSTA, A. P.; FALCÃO, A. C. A.; GEROLAMO, M. C. **Um estudo sobre o nível de maturidade 4.0: Uma avaliação em oito empresas no interior do estado de São Paulo**. XXVI Simposio de Engenharia de Produção: Desafios da Engenharia de Produção no Contexto da Indústria 4.0. Bauru/SP, 2019.
- CUIGNET, R. **Gestão da manutenção: Melhore os desempenhos operacionais e financeiros sua manutenção**. 2ª ed. Lisboa, LB: Lidel, 2006.
- DANTAS, P. P. L. **Modelo multicritério para suportar a definição de uma política integrada de manutenção e estoque**. Dissertação (Mestrado). Programa de pós-graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2017. Disponível em: <https://attena.ufpe.br/handle/123456789/24935>. Acesso em: 06 mar. 2021.

CAROLIS, A. *et al.* A maturity model for assessing the digital readiness of manufacturing companies. In: **IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems**. Springer, Cham, 2017. p. 13-20.

FACCHINI, F. *et al.* **A Maturity Model for Logistics 4.0: An Empirical Analysis and a Roadmap for Future Research**. Sustainability, MDPI, 2019. DOI: <10.3390/su12010086>.

FALCÃO, A. C. R. DE A. **Sistematização dos Pilares da Indústria 4.0: Uma Análise Utilizando Revisão Bibliográfica Sistemática**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2019. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18156/tde-04072019-091814/pt-br.php>. Acesso em: 16 abr. 2021.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Indústria 4.0: Panorama da Inovação**. Rio de Janeiro: Firjam, 2016.

FELCH, V.; ASDECKER, B.; SUCKY, E. Digitization in Outbound Logistics –Application of an Industry 4.0 Maturity Model for the Delivery Process. *In*: STENTOFT, J. (Ed.), **Proceedings of the 30th Annual NOFOMA Conference: Relevant Logistics and Supply Chain Management Research**. Kolding: Syddansk Universitet, 2018, p. 113–128.

FREUND, G. P.; FAGUNDES, P. B.; MACEDO, D. D. J. DE. **Requisitos de segurança para provedores de serviços em nuvem de acordo com a norma ISO 27017**. I Workshop de Informação, Dados e Tecnologia. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/180295>. Acesso em: 15 mar. 2021.

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

GERBERT, P.; LORENZ, M.; RUGMANN, M.; WALDNER, M.; JUSTUS, J.; HENGEL, P.; HARNISCH, M. **Industry 4.0: the future of productivity growth in manufacturing industries**. Munich: The Boston Consulting Group, 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, 2017. p. 128-142.

GORECKY, D.; KHAMIS, M.; MURA, K. Introduction and establishment of virtual training in the factory of the future. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 30, n. 1, p. 182-190. 2017.

IYER, B. To Predict the Trajectory of the Internet of Things, Look to the Software Industry. **Harvard Business Review**, v. 2, p. 1-6, 2016.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis. 6th ed.** Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2007.

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

KANG, H. S. *et al.* **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.

KIPPER, L. M. *et al.* Scopus scientific mapping production in industry 4.0 (2011–2018): a bibliometric analysis. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 6, p. 1605-1627, 2020.

LARREA, M.; ESTENSORO, M.; SISTI, E. **The Contribution of Action Research to Industry 4.0 Policies: Bringing Empowerment and Democracy to the Economic Efficiency Arena.** International Journal of Action Research, page 164 – 180, 2018.

LI, D. *et al.* **Human-Centred Dissemination of Data, Information and Knowledge in Industry 4.0.** Procedia CIRP, 29th, 2019.

LICHTBLAU, K. *et al.* **Industrie 4.0 Readiness.** IMPULS-Stiftung for mechanical engineering, plant engineering, and information technology. 2015.

LICHTBLAU, K. GOERICKE, D. STICH, V. **Industrie 4.0: Readiness.** Impuls-Stiftung, 2015.

LIN, T. C.; WANG, K. J.; SHENG, M. L. To assess smart manufacturing readiness by maturity model: a case study on Taiwan enterprises. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, 2019.

LIU, Y.; XU, X. Industry 4.0 and Cloud Manufacturing: A Comparative Analysis. **Jornal of Manufacturing Science and Engineering**, v. 139, 2017.

LU, X.; LI, Q.; QU, Z.; HUI, P. **Privacy Information Security Classification Study in Internet of Things.** 2014 International Conference on Identification, Information and Knowledge in the Internet of Things, 2014.

LUCATO, W. C.; VIEIRA JÚNIOR, M.; VANALLE, R. M.; SALLES, J. A. A. Model to measure the degree of competitiveness for auto parts manufacturing companies. **Internacional Journal of Production Research**, v. 50, n. 19, p. 5508-5522, 2012.

LUGOBONI, L. F. Identificação de uma lacuna de Pesquisa. **Revista LICEU**, v. 7, n. 2, p.1-5, São Paulo, 2017.

LUNELLI, F. B.; CECCONELLO, I. Definição e Aplicação de um Modelo de Maturidade para Manufatura Inteligente, sob a ótica da Indústria 4.0. **Scientia cum Industria**, V. 7, N. 2, pp. 126-134, 2019.

MÉLLO, Rafael de Oliveira. **Planejamento Lean 3P com modelagem multicritério para auxílio na tomada de decisão.** Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Aplicadas. Limeira, 2019.

MERKEL, L. *et al.* Teaching Smart Production: An Insight into the Learning Factory for Cyber-Physical Production Systems (LVP). **Procedia Manufacturing**, v. 9, p. 269-274, 2017.

NASCIMENTO, R. B. **Modelo multicritério de avaliação da maturidade em gestão de riscos.** Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília. Brasília/DF, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/34047>. Acesso em: 28 mar. 2021.

- PACCHINI, A. P. T. **O grau de prontidão das empresas industriais para implantação da indústria 4.0: um estudo de caso no setor automotivo brasileiro.** 2019. 197 f. Tese (Programa de Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Nove de Julho, São Paulo. Disponível em <http://bibliotecatede.uninove.br/handle/tede/2220>. Acesso em: 05 mar. 2021.
- PRESSI, R. A. **Tomada de decisão de investimento através de método multicritério para fins de planejamento da expansão da distribuição.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2017. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/169328>. Acesso em: 03 abr. 2021.
- PR-EUVENEERS, 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, p. 287-298, 2017.
- PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. DE. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico.** Novo Hamburgo, Feevale, 2 ed., 2013.
- 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.
- REN, L. *et al.* **Cloud manufacturing: key characteristics and applications.** International Journal of Computer Integrated Manufacturing, v. 30, n. 6, p. 501-515, 2017.
- ROBLEK, V.; MESKO, M.; KRAPEZ, A. **A Complex View of Industry 4.0.** SAGE Journals. SAGE Open, 2016.
- SANTOS, R. C.; MARTINHO, J. L. An Industry 4.0 maturity model proposal. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 31 n. 5, p. 1023-1043, 2020.
- SCHUH, G. *et al.* (Ed.). **Industrie 4.0 Maturity Index: Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten.** Herbert Utz Verlag, 2017.
- 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.
- SCHWAB, K. **A quarta revolução industrial.** Trad. Daniel Moreira Miranda. São Paulo: Edipro, 2016.
- SHAFIQ, S. *et al.* Virtual engineering object / virtual engineering process: a specialized form of cyber physical system for industrie 4.0. **Procedia Computer Science**, v.60, p. 1146- 1155, 2015.
- SILVA, F. F. **Métodos de Elicitação de pesos para modelos de apoio multicritério à decisão.** Dissertação (Mestrado). Programa de pós-graduação em engenharia de produção, Universidade Candido Mender. Campos dos Goytacazes/RJ, 2018. Disponível em: <https://pep.ucam-campos.br/wp-content/uploads/2018/03/Fabr%C3%ADcio-Freitas-da-Silva>. Acesso em 18 abr. 2021.
- SILVA, M. V. G.; ROCHA, C. F. Avaliação do Nível de Maturidade da Indústria 4.0: O caso de uma Empresa Estratégica de Defesa. **Future Journal: Future Studies Research Journal: Trends and Strategies**, v. 12, n. 1, p. 31-59. São Paulo, 2020.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. SAE J4000 – Identification and measurement of best practice in implementation of lean operation. *In: SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. SAE handbook – Volume 3 – On-highway vehicles (partII) and off-road machinery.* Warrendale, PA, Society of Automotive Engineers, 2001.

TAO, F. *et al.* Data-driven smart manufacturing. **Journal of Manufacturing Systems**, n. January, 2018.

TAO, F. *et al.* SDMSim: A manufacturing service supply-demand matching simulator under cloud environment. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 45, p. 34- 46, 2017.

TAVARES, M. C. **Análise multicritério aplicada à tomada de decisão do modo de transporte de produtos farmacêuticos termossensíveis importados ao mercado brasileiro.** Dissertação (Mestrado). Programa de pós-graduação em Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://www.pet.coppe.ufrj.br/index.php/pt/producao-academica/dissertacoes/2015/386-analise-multicriterio-aplicada-a-tomada-de-decisao-do-modo-de-transporte-de-produtos-farmaceuticos-termossensiveis-importados-ao-mercado-brasileiro>. Acesso em: 04 abr. 2021.

TONELLI, F. *et al.* A novel methodology for manufacturing firms value modeling and mapping to improve operational performance in the industry 4.0 Era. **Procedia CIRP**, v. 57, p. 122-127. 2016.

TROJAN, F. **Gestão da manutenção.** Programa de pós-graduação em engenharia de produção. UTFPR, 38 slides, 2020.

VENÂNCIO, A. L. A. C.; BREZINSKI, G. L. **Sistema de avaliação de maturidade industrial baseando-se nos conceitos da indústria 4.0.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/10110>. Acesso em: 06 mai. 2021.

WAGIRE, A. A. *et al.* **Development of maturity model for assessing the implementation of Industry 4.0: learnig from theory and practice.** *Production Planning & Control: The Management of Operations*, 2020.

WANG, S. *et al.* Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 12, 2016.

WEBER, C. *et al.* M2DDM-A Maturity Model for Data-Driven Manufacturing. *In: TSENG, M. M.; TSAI, H. Y.; WANG, Y. Manufacturing Systems 4.0*, v. 63, p. 173-178. 2017.

WEYER, S. *et al.* Towards Industry 4.0 – Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. **IfacPapersonline**, v. 48, n. 3, p. 578-584, 2015.

WU, D.; TERPENNY, J.; SCHAEFER, D. Digital design and manufacturing on the cloud: A review of software and services. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM**, v. 31, n. 1, p. 104-118. 2017.

XU, L. DA; 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. 1–22, 2018.

ZHONG, R. Y; XU, X; KLOTZ, E; NEWMAN, S. T. Intelligent Manufacturing in the

Context of Industry 4.0: A Review. **Engineering**, v. 3, p. 616–630, 2017.

ZINK, A. *et al.* Do Outdoor Workers Know Their Risk of NMSC? Perceptions, Beliefs and Preventive Behaviour among Farmers, Roofers and Gardeners. **Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology**, v. 31, n. 10, p. 1649–1654, 2017.

APÊNDICE A - Questionário de avaliação de prontidão/maturidade

INTERNET DAS COISAS

1- Ter rede sem fio de alta velocidade e capacidade

A empresa não tem rede sem fio.

A empresa tem rede sem fio com capacidade e velocidade limitada

A empresa tem rede sem fio com capacidade e velocidade, no entanto, ainda insuficiente para operar as tecnologias da Indústria 4.0

A empresa tem rede sem fio de alta capacidade e de alta velocidade.

2 - Ter sistemas de segurança da informação para evitar ataques cibernéticos

A empresa não tem sistemas de segurança da informação

A empresa está visando implantar sistemas de segurança da informação

A empresa já está em processo de implantação de sistemas de segurança da informação

A empresa já está operando com sistemas de segurança da informação

3- Utilizar o Código Eletrônico do Produto

A empresa não possui o Código Eletrônico do Produto

A empresa está estudando para implementar o Código Eletrônico do Produto

Grande parte do inventário da empresa já está adotando o Código Eletrônico do Produto

A empresa possui o Código Eletrônico do Produto

3- Ter protocolo de comunicação M2M (*machine to machine*)

A empresa não tem nenhum protocolo de comunicação

A empresa já iniciou estudos para implementação de protocolos de comunicação

A empresa já possui o protocolo de comunicação iniciado

A empresa tem protocolo de comunicação Machine to Machine

4- Utilizar a tecnologia RFID

A empresa não possui sensores instalados, tampouco tecnologias RFID ou semelhante

A empresa já iniciou a instalação de sensores, porém não possui as tecnologias RFID ou semelhante

A empresa já possui sensores instalados e já iniciaram a implementação da tecnologia RFID ou semelhante

A empresa já possui sensores instalados e também tecnologias RFID ou semelhante

BIG DATA

1- Ter rede de comunicação para tráfego de grandes quantidade de dados

A empresa tem rede de comunicação para tráfego de grandes quantidade de dados

A empresa está estudando inserir redes de comunicação para armazenar grandes quantidades de dados

A empresa já tem rede de comunicação para grandes quantidade de dados, mas os dados ainda não são organizados.

A empresa tem rede de comunicação para tráfego de grandes quantidade de dados

2 - Ter pessoal habilitado para organizar e coletar dados

A empresa não possui pessoal habilitado para coletar e analisar dados

A empresa possui uma pequena parte de pessoal habilitado para coleta e análise de dados

A empresa possui boa parte de pessoal habilitado para coleta e análise de dados

A empresa possui pessoal habilitado para coleta e análise de dados

3 - Ter todos os seus dados/informações organizados e mantidos em sistemas digitais

A empresa não possui os seus dados/informações confiáveis

A empresa possui os seus dados/informações organizados e mantidos em sistemas digitais

A empresa possui grande parte de seus dados/informações organizados e mantidos em sistemas digitais

A empresa possui todos os seus dados/informações organizados e mantidos em sistemas digitais.

4 - A empresa deve saber os problemas que deseja resolver com os dados obtidos

A empresa não tem definido o que deseja resolver com seus dados coletados

A empresa começa a definir o que deseja resolver com seus dados coletados

A empresa já tem boa parte definida do que deseja resolver com seus dados coletados

A empresa já tem definido o que deseja resolver com seus dados coletados

COMPUTAÇÃO EM NUVEM

1 - Ter conectividade com internet de alta velocidade e capacidade;

A empresa não tem rede sem fio.

A empresa tem rede sem fio com capacidade e velocidade limitada

A empresa tem rede sem fio com capacidade e velocidade, no entanto, ainda insuficiente para operar as tecnologias da Indústria 4.0

A empresa tem rede sem fio de alta capacidade e de alta velocidade.

2 - Ter pessoal de TI preparado para novas tecnologias para computação em nuvem; CN1 pág 182

- A empresa não tem pessoal preparado para esta tecnologia
- A empresa tem poucas pessoas preparadas para esta tecnologia
- A empresa tem boa parte do pessoal preparado para esta tecnologia
- A empresa tem todas as pessoas preparadas para o uso desta tecnologia

3 - Ter sistemas integrados para a garantia e interoperabilidade de seus processos;

- A empresa não possui um protocolo de comunicação
- A empresa começou a pensar um protocolo de comunicação
- A empresa já tem um protocolo de comunicação aberto
- A empresa possui um protocolo de comunicação

4 - Ter captação financeira para os investimentos em computação nuvem;

- A empresa não tem capacidade financeira para investimentos nesta tecnologia
- A empresa tem limitada capacidade financeira para investimentos nesta tecnologia
- A empresa tem quase ampla capacidade financeira para investimentos nesta tecnologia
- A empresa tem ampla capacidade financeira para investimentos nesta tecnologia

5 - Ter firewall para a segurança dos dados;

- A empresa não possui sistemas de segurança das informações
- A empresa possui estudos para implantação de sistemas de segurança das informações
- A empresa já está implantando sistemas de segurança das informações
- A empresa possui sistemas de segurança das informações em plena operação

SISTEMA FÍSICO CIBERNÉTICO**1 - Ter conectividade com internet de alta velocidade e capacidade**

- A empresa não tem rede sem fio.
- A empresa tem rede sem fio com capacidade e velocidade limitada
- A empresa tem rede sem fio com capacidade e velocidade, no entanto, ainda insuficiente para operar as tecnologias da Indústria 4.0
- A empresa tem rede sem fio de alta capacidade e de alta velocidade.

2 - Ter acesso a dados na nuvem

- A empresa não conhece a computação em nuvem
- A empresa começou a tomar conhecimento sobre a computação em nuvem

A empresa iniciou a implantação da computação em nuvem
 A empresa já possui computação em nuvem

3 - Ter uma estrutura física de computadores instalada

A empresa não tem infraestrutura de computadores
 A empresa está pensando em adquirir computadores
 A empresa está se estruturando na aquisição de computadores
 A empresa tem infraestrutura de computadores

4 - Ter sensores instalados nos objetos a serem conectados

A empresa não possui sensores instalados e suas tecnologias
 A empresa está iniciando o uso de sensores e suas tecnologias
 A empresa já tem sensores instalados e está iniciando a implantação de suas tecnologias
 A empresa já tem sensores instalados e já faz uso de suas tecnologias

5 - Ter uma estrutura de análise de grandes quantidades de dados

A empresa não tem conhecimento sobre Big Data
 A empresa começou a tomar conhecimento sobre a Big Data
 A empresa iniciou a implantação da Big Data
 A empresa já possui Big Data

6 - Ter uma Arquitetura Orientada a Serviço (SOA)

A empresa não tem Arquitetura Orientada a Serviço
 A empresa tem pequenas estruturas para
 A empresa tem razoável estrutura para SOA
 A empresa possui SOA

ROBÔS COLABORATIVOS

1 - Ter capacidade financeira

A empresa não tem capacidade financeira para investimentos nesta tecnologia
 A empresa tem limitada capacidade financeira para investimentos nesta tecnologia
 A empresa tem quase ampla capacidade financeira para investimentos nesta tecnologia
 A empresa tem ampla capacidade financeira para investimentos nesta tecnologia

2 - Fazer um trabalho psicológico com os humanos que trabalham com robôs colaborativos

A empresa não tem intenção de acompanhar psicologicamente seus colaboradores

A empresa está pensando em desenvolver
 A empresa iniciou o desenvolvimento de acompanhamento psicológico aos seus colaboradores
 A empresa possui acompanhamento psicológico voltado aos colaboradores

3 - Ter mão de obra treinada em robótica

A empresa não tem pessoal preparado para esta tecnologia
 A empresa tem poucas pessoas preparadas para esta tecnologia
 A empresa tem boa parte do pessoal preparado para esta tecnologia
 A empresa tem todas as pessoas preparadas para o uso desta tecnologia

4 - Fazer um mapeamento minucioso do processo e da trajetória

A empresa não possui mapeamento dos processos e trajetória
 A empresa está iniciando o mapeamento de processos e trajetória
 A empresa possui boa parte do mapeamento de processos e trajetória
 A empresa possui o mapeamento de processos e trajetória

5 - Ter conhecimento das limitações dos robôs colaborativos

A empresa não possui conhecimento sobre as limitações dos robôs colaborativos
 A empresa possui pequeno conhecimento sobre as limitações dos robôs
 A empresa possui boa parte do conhecimento sobre as limitações dos robôs
 A empresa possui pleno conhecimento sobre as limitações dos robôs

REALIDADE AUMENTADA

1 - A empresa deve levar em conta o ambiente de trabalho do operador

A empresa não tem conhecimento da importância deste levantamento
 A empresa está pensando em iniciar este levantamento
 A empresa iniciou este levantamento
 A empresa possui este levantamento

2 - A empresa deve ter seus arquivos digitalizados

A empresa não possui arquivos digitalizados
 A empresa possui pequena parte dos arquivos digitalizados
 A empresa possui boa parte ou grande parte dos arquivos digitalizados
 A empresa já possui todos os arquivos digitalizados

3 - A empresa deve ter um mapeamento detalhado do processo

A empresa não possui mapeamento dos processos e trajetória
 A empresa está iniciando o mapeamento de processos e trajetória
 A empresa possui boa parte do mapeamento de processos e trajetória

A empresa possui o mapeamento de processos e trajetória

4 - A empresa deve ter um estudo ergonômico das funções do operador

A empresa não possui estudos ergonômicos ou ergométricos

A empresa está iniciando os estudos ergonômicos ou ergométricos

A empresa possui boa parte dos estudos ergonômicos ou ergométricos

A empresa já possui os estudos ergonômicos/ergométricos

5 - A empresa deve planejar quais dados podem ser compartilhados

A empresa não tem conhecimento da importância deste levantamento

A empresa está pensando em iniciar este levantamento

A empresa iniciou este levantamento

A empresa possui este levantamento

6 - A empresa deve ter um software adequado para a utilização do hardware

A empresa não possui software nem hardware de realidade aumentada

A empresa está pensando em adquirir software e hardware de realidade aumentada

A empresa adquiriu software e hardware de realidade aumentada

A empresa implantou software e hardware de realidade aumentada

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

1 - A empresa deve ter capacidade financeira

A empresa não tem capacidade financeira para investimentos nesta tecnologia

A empresa tem limitada capacidade financeira para investimentos nesta tecnologia

A empresa tem quase ampla capacidade financeira para investimentos nesta tecnologia

A empresa tem ampla capacidade financeira para investimentos nesta Tecnologia

2 - A empresa deve ter estratégias e conhecimento prévio de AI

A empresa não tem conhecimento nem estratégias para AI

A empresa tem conhecimento parcial, mas não tem estratégias para AI

A empresa tem conhecimento, mas não tem estratégias para AI

A empresa tem conhecimento e estratégias para AI

3 - A empresa deve ter comunicação M2M;

A empresa não possui comunicação M2M

A empresa está pensando em iniciar os sistemas de comunicação M2M

A empresa possui comunicação M2M parcial
 A empresa possui comunicação M2M integral

4 - A empresa deve ter sensores nos equipamentos

A empresa não possui sensores instalados e suas tecnologias
 A empresa está iniciando o uso de sensores e suas tecnologias
 A empresa já tem sensores instalados e está iniciando a implantação de suas tecnologias
 A empresa já tem sensores instalados e já faz uso de suas tecnologias

5 - A empresa deve ter as tecnologias habilitadoras digitais implantadas

A empresa não tem conhecimento das tecnologias digitais habilitadoras
 A empresa tem conhecimento das tecnologias digitais habilitadoras
 A empresa tem algumas tecnologias digitais habilitadoras
 A empresa tem tecnologias digitais habilitadoras implantadas

6 - A empresa deve ter segurança cibernética

A empresa não possui sistemas de segurança da informação
 A empresa possui estudos de implantação de sistemas de segurança da informação
 A empresa está implantando os sistemas de segurança da informação
 A empresa já possui sistemas de segurança da informação plenos e operantes

MANUFATURA ADITIVA

1 - Ter mão de obra capacitada

A empresa não tem mão de obra preparada para essa tecnologia.
 A empresa tem poucos funcionários preparados para essa tecnologia
 A empresa tem boa parte do pessoal preparado para essa tecnologia
 A empresa tem todo pessoal preparado para essa tecnologia.

2 - Avaliar as características das peças a serem produzidas

A empresa não avalia as características das peças a serem produzidas
 A empresa está estudando a possibilidade de começar a fazer essa avaliação
 A empresa começou a fazer essa avaliação
 A empresa avalia as características de todas as peças a serem produzidas

3 - Levar em conta a sua capacidade técnica

A empresa não analisa a sua capacidade técnica.
 A empresa está cogitando começar a analisar a sua capacidade técnica
 A levantamento de sua capacidade técnica está em processo.

A empresa possui o levantamento de sua capacidade técnica.

5 - Levar em conta a sua segurança contra ataques cibernéticos

A empresa não possui sistemas de segurança da informação

A empresa já está estudando a implementação de sistemas de segurança da informação.

A empresa está implementando sistemas de segurança da informação.

A empresa possui sistemas de segurança da informação em plena operação.

APÊNDICE B - Questionário relacionado à adoção das tecnologias pilares respondido

Internet das Coisas

1- Ter rede sem fio de alta velocidade e capacidade

- A empresa não tem rede sem fio.
- A empresa tem rede sem fio com capacidade e velocidade limitada 1
- A empresa tem rede sem fio com capacidade e velocidade, no entanto, ainda insuficiente para operar as tecnologias da Indústria 4.0
- A empresa tem rede sem fio de alta capacidade e de alta velocidade.

2 - Ter sistemas de segurança da informação para evitar ataques cibernéticos

- A empresa não tem sistemas de segurança da informação
- A empresa está visando implantar sistemas de segurança da informação
- A empresa já está em processo de implantação de sistemas de segurança da informação
- A empresa já está operando com sistemas de segurança da informação 3

3- Utilizar o Código Eletrônico do Produto

- A empresa não possui o Código Eletrônico do Produto 0
- A empresa está estudando para implementar o Código Eletrônico do Produto
- Grande parte do inventário da empresa já está adotando o Código Eletrônico do Produto

4- Ter protocolo de comunicação M2M (*machine to machine*)

- A empresa não tem nenhum protocolo de comunicação 0
- A empresa já iniciou estudos para implementação de protocolos de comunicação
- A empresa já possui o protocolo de comunicação iniciado
- A empresa tem protocolo de comunicação Machine to Machine

5- Utilizar a tecnologia RFID

- A empresa não possui sensores instalados, tampouco tecnologias RFID ou semelhante 0
- A empresa já iniciou a instalação de sensores, porém não possui as tecnologias RFID ou semelhante
- A empresa já possui sensores instalados e já iniciaram a implementação da tecnologia RFID ou semelhante
- A empresa já possui sensores instalados e também tecnologias RFID ou semelhante

BIG DATA

1- Ter rede de comunicação para tráfego de grandes quantidade de dados

- A empresa tem rede de comunicação para tráfego de grandes quantidade de dados
- A empresa está estudando inserir redes de comunicação para armazenar grandes quantidades de dados
- A empresa já tem rede de comunicação para grandes quantidade de dados, mas os dados ainda não são organizados.
- A empresa tem rede de comunicação para tráfego de grandes quantidade de dados 3

2 - Ter pessoal habilitado para organizar e coletar dados

- A empresa não possui pessoal habilitado para coletar e analisar dados
- A empresa possui uma pequena parte de pessoal habilitado para coleta e análise de dados 1
- A empresa possui boa parte de pessoal habilitado para coleta e análise de dados
- A empresa possui pessoal habilitado para coleta e análise de dados

3 - Ter todos os seus dados/informações organizados e mantidos em sistemas digitais

- A empresa não possui os seus dados/informações confiáveis
- A empresa possui os seus dados/informações organizados e mantidos em sistemas digitais
- A empresa possui grande parte de seus dados/informações organizados e mantidos em sistemas digitais 2
- A empresa possui todos os seus dados/informações organizados e mantidos em sistemas digitais.

4 - A empresa deve saber os problemas que deseja resolver com os dados obtidos

- A empresa não tem definido o que deseja resolver com seus dados coletados
- A empresa começa a definir o que deseja resolver com seus dados coletados
- A empresa já tem boa parte definida do que deseja resolver com seus dados coletados 2
- A empresa já tem definido o que deseja resolver com seus dados coletados

COMPUTAÇÃO EM NUVEM**1 - Ter conectividade com internet de alta velocidade e capacidade;**

- A empresa não tem rede sem fio.
- A empresa tem rede sem fio com capacidade e velocidade limitada 1
- A empresa tem rede sem fio com capacidade e velocidade, no entanto, ainda insuficiente para operar as tecnologias da Indústria 4.0
- A empresa tem rede sem fio de alta capacidade e de alta velocidade.

**2 - Ter pessoal de TI preparado para novas tecnologias para computação em nuvem; CN1
pág 182**

- A empresa não tem pessoal preparado para esta tecnologia
- A empresa tem poucas pessoas preparadas para esta tecnologia 1
- A empresa tem boa parte do pessoal preparado para esta tecnologia
- A empresa tem todas as pessoas preparadas para o uso desta tecnologia

3 - Ter sistemas integrados para a garantia e interoperabilidade de seus processos;

- A empresa não possui um protocolo de comunicação
- A empresa começou a pensar um protocolo de comunicação 1
- A empresa já tem um protocolo de comunicação aberto
- A empresa possui um protocolo de comunicação

4 - Ter captação financeira para os investimentos em computação nuvem;

- A empresa não tem capacidade financeira para investimentos nesta tecnologia
- A empresa tem limitada capacidade financeira para investimentos nesta tecnologia
- A empresa tem quase ampla capacidade financeira para investimentos nesta tecnologia 2

A empresa tem ampla capacidade financeira para investimentos nesta tecnologia

5 - Ter firewall para a segurança dos dados;

A empresa não possui sistemas de segurança das informações

A empresa possui estudos para implantação de sistemas de segurança das informações

A empresa já está implantando sistemas de segurança das informações

A empresa possui sistemas de segurança das informações em plena operação 3

SISTEMA FÍSICO CIBERNÉTICO

1 - Ter conectividade com internet de alta velocidade e capacidade

A empresa não tem rede sem fio.

A empresa tem rede sem fio com capacidade e velocidade limitada 1

A empresa tem rede sem fio com capacidade e velocidade, no entanto, ainda insuficiente para operar as tecnologias da Indústria 4.0

A empresa tem rede sem fio de alta capacidade e de alta velocidade.

2 - Ter acesso a dados na nuvem

A empresa não conhece a computação em nuvem

A empresa começou a tomar conhecimento sobre a computação em nuvem

A empresa iniciou a implantação da computação em nuvem

A empresa já possui computação em nuvem 3

3 - Ter uma estrutura física de computadores instalada

A empresa não tem infraestrutura de computadores

A empresa está pensando em adquirir computadores

A empresa está se estruturando na aquisição de computadores

A empresa tem infraestrutura de computadores 3

4 - Ter sensores instalados nos objetos a serem conectados

A empresa não possui sensores instalados e suas tecnologias

A empresa está iniciando o uso de sensores e suas tecnologias

A empresa já tem sensores instalados e está iniciando a implantação de suas tecnologias

A empresa já tem sensores instalados e já faz uso de suas tecnologias 3

5 - Ter uma estrutura de análise de grandes quantidades de dados

A empresa não tem conhecimento sobre Big Data 0

A empresa começou a tomar conhecimento sobre a Big Data

A empresa iniciou a implantação da Big Data

A empresa já possui Big Data

6 - Ter uma Arquitetura Orientada a Serviço (SOA)

A empresa não tem Arquitetura Orientada a Serviço 0

A empresa tem pequenas estruturas para SOA

A empresa tem razoável estrutura para SOA

A empresa possui SOA

ROBÔS COLABORATIVOS

1 - Ter capacidade financeira

- A empresa não tem capacidade financeira para investimentos nesta tecnologia
- A empresa tem limitada capacidade financeira para investimentos nesta tecnologia 1
- A empresa tem quase ampla capacidade financeira para investimentos nesta tecnologia
- A empresa tem ampla capacidade financeira para investimentos nesta tecnologia

2 - Fazer um trabalho psicológico com os humanos que trabalham com robôs colaborativos

- A empresa não tem intenção de acompanhar psicologicamente seus colaboradores 0
- A empresa está pensando em desenvolver
- A empresa iniciou o desenvolvimento de acompanhamento psicológico aos seus colaboradores
- A empresa possui acompanhamento psicológico voltado aos colaboradores

3 - Ter mão de obra treinada em robótica

- A empresa não tem pessoal preparado para esta tecnologia
- A empresa tem poucas pessoas preparadas para esta tecnologia 1
- A empresa tem boa parte do pessoal preparado para esta tecnologia
- A empresa tem todas as pessoas preparadas para o uso desta tecnologia

4 - Fazer um mapeamento minucioso do processo e da trajetória

- A empresa não possui mapeamento dos processos e trajetória
- A empresa está iniciando o mapeamento de processos e trajetória
- A empresa possui boa parte do mapeamento de processos e trajetória 2
- A empresa possui o mapeamento de processos e trajetória

5 - Ter conhecimento das limitações dos robôs colaborativos

- A empresa não possui conhecimento sobre as limitações dos robôs colaborativos 0
- A empresa possui pequeno conhecimento sobre as limitações dos robôs
- A empresa possui boa parte do conhecimento sobre as limitações dos robôs
- A empresa possui pleno conhecimento sobre as limitações dos robôs

REALIDADE AUMENTADA

1 - A empresa deve levar em conta o ambiente de trabalho do operador

- A empresa não tem conhecimento da importância deste levantamento 0
- A empresa está pensando em iniciar este levantamento
- A empresa iniciou este levantamento
- A empresa possui este levantamento

2 - A empresa deve ter seus arquivos digitalizados

- A empresa não possui arquivos digitalizados
- A empresa possui pequena parte dos arquivos digitalizados

A empresa possui boa parte ou grande parte dos arquivos digitalizados 2
 A empresa já possui todos os arquivos digitalizados

3 - A empresa deve ter um mapeamento detalhado do processo

A empresa não possui mapeamento dos processos e trajetória
 A empresa está iniciando o mapeamento de processos e trajetória
 A empresa possui boa parte do mapeamento de processos e trajetória

A empresa possui o mapeamento de processos e trajetória

4 - A empresa deve ter um estudo ergonômico das funções do operador

A empresa não possui estudos ergonômicos ou ergométricos
 A empresa está iniciando os estudos ergonômicos ou ergométricos
 A empresa possui boa parte dos estudos ergonômicos ou ergométricos
 A empresa já possui os estudos ergonômicos/ergométricos

5 - A empresa deve planejar quais dados podem ser compartilhados

A empresa não tem conhecimento da importância deste levantamento 0
 A empresa está pensando em iniciar este levantamento
 A empresa iniciou este levantamento
 A empresa possui este levantamento

6 - A empresa deve ter um software adequado para a utilização do hardware

A empresa não possui software nem hardware de realidade aumentada 0
 A empresa está pensando em adquirir software e hardware de realidade aumentada
 A empresa adquiriu software e hardware de realidade aumentada
 A empresa implantou software e hardware de realidade aumentada

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

1 - A empresa deve ter capacidade financeira

A empresa não tem capacidade financeira para investimentos nesta tecnologia
 A empresa tem limitada capacidade financeira para investimentos nesta tecnologia
 A empresa tem quase ampla capacidade financeira para investimentos nesta tecnologia 2
 A empresa tem ampla capacidade financeira para investimentos nesta tecnologia

2 - A empresa deve ter estratégias e conhecimento prévio de AI

A empresa não tem conhecimento nem estratégias para AI 0
 A empresa tem conhecimento parcial, mas não tem estratégias para AI
 A empresa tem conhecimento, mas não tem estratégias para AI
 A empresa tem conhecimento e estratégias para AI

3 - A empresa deve ter comunicação M2M;

- A empresa não possui comunicação M2M 0
- A empresa está pensando em iniciar os sistemas de comunicação M2M
- A empresa possui comunicação M2M parcial
- A empresa possui comunicação M2M integral

4 - A empresa deve ter sensores nos equipamentos

- A empresa não possui sensores instalados e suas tecnologias
- A empresa está iniciando o uso de sensores e suas tecnologias
- A empresa já tem sensores instalados e está iniciando a implantação de suas tecnologias 2
- A empresa já tem sensores instalados e já faz uso de suas tecnologias

5 - A empresa deve ter as tecnologias habilitadoras digitais implantadas

- A empresa não tem conhecimento das tecnologias digitais habilitadoras 0
- A empresa tem conhecimento das tecnologias digitais habilitadoras
- A empresa tem algumas tecnologias digitais habilitadoras
- A empresa tem tecnologias digitais habilitadoras implantadas

6 - A empresa deve ter segurança cibernética

- A empresa não possui sistemas de segurança da informação
- A empresa possui estudos de implantação de sistemas de segurança da informação
- A empresa está implantando os sistemas de segurança da informação
- A empresa já possui sistemas de segurança da informação plenos e operantes 3

MANUFATURA ADITIVA

1 - Ter mão de obra capacitada

- A empresa não tem mão de obra preparada para essa tecnologia.
- A empresa tem poucos funcionários preparados para essa tecnologia 1
- A empresa tem boa parte do pessoal preparado para essa tecnologia
- A empresa tem todo pessoal preparado para essa tecnologia.

2 - Avaliar as características das peças a serem produzidas

- A empresa não avalia as características das peças a serem produzidas
- A empresa está estudando a possibilidade de começar a fazer essa avaliação
- A empresa começou a fazer essa avaliação 2
- A empresa avalia as características de todas as peças a serem produzidas

3 - Levar em conta a sua capacidade técnica

- A empresa não analisa a sua capacidade técnica.
- A empresa está cogitando começar a analisar a sua capacidade técnica
- A levantamento de sua capacidade técnica está em processo. 2
- A empresa possui o levantamento de sua capacidade técnica.

4 - Levar em conta a sua segurança contra ataques cibernéticos

- A empresa não possui sistemas de segurança da informação

A empresa já está estudando a implementação de sistemas de segurança da informação.

A empresa está implementando sistemas de segurança da informação.

A empresa possui sistemas de segurança da informação em plena operação.

3

**APÊNDICE C - Tabela de Cálculo de Pesos de importâncias das Tecnologias Pilares
pelo Método AHP**

	IoT	Big Data	Computação em Nuvem	CBS	Robôs Colaborativos	Manufatura Aditiva	Realidade Aumentada	Inteligência Artificial	Auto Vetor	Wj	Grau de importância
IoT	1	2.00	3.00	3.00	3.00	4.00	4.00	4.00	2.7690	27.73%	0.2773
Big Data	0.50	1	2.00	3.00	3.00	3.00	4.00	3.00	2.0598	20.63%	0.2063
Computação em Nuvem	0.33	0.50	1	2.00	2.00	2.00	3.00	5.00	1.4542	14.57%	0.1457
CBS	0.33	0.33	0.50	1	2.00	2.00	3.00	4.00	1.1304	11.32%	0.1132
Robôs Colaborativos	0.33	0.33	0.50	0.50	1	2.00	3.00	4.00	0.9506	9.52%	0.0952
Manufatura Aditiva	0.25	0.33	0.50	0.50	0.50	2	3.00	4.00	0.8409	8.42%	0.0842
Realidade Aumentada	0.25	0.25	0.33	0.33	0.33	0.33	1	3.00	0.4683	4.69%	0.0469
Inteligência Artificial	0.25	0.33	0.20	0.25	0.25	0.25	0.33	1	0.3107	3.11%	0.0311
									9.9839	100%	1.0000