



Universidade Federal do Amazonas
Faculdade de Tecnologia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção - PPGEP



MAURICIO ITIKAWA

**Diagnóstico da maturidade de empresa do polo industrial
de Manaus sob métricas da indústria 4.0
Estudo de Caso Comparativo sob a perspectiva da Lei de
Informática**

Manaus-AM
2022

MAURICIO ITIKAWA

**DIAGNÓSTICO DA MATURIDADE DE EMPRESA DO POLO
INDUSTRIAL DE MANAUS SOB MÉTRICAS DA INDÚSTRIA
4.0**

**Estudo de Caso Comparativo sob a perspectiva da Lei de
Informática**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Linha de Pesquisa: Gestão da Produção e Operações.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Breval Santiago

Manaus – AM

2022

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

I89d Itikawa, Mauricio
Diagnóstico da maturidade de empresa do polo industrial de
Manaus sob métricas da indústria 4.0 : estudo de caso comparativo
sob a perspectiva da Lei de Informática / Mauricio Itikawa . 2022
106 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Sandro Breval Santiago
Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) -
Universidade Federal do Amazonas.

1. Indústria 4.0. 2. Nível de maturidade. 3. Zona Franca de
Manaus. 4. Lei de Informática. I. Santiago, Sandro Breval. II.
Universidade Federal do Amazonas III. Título

MAURICIO ITIKAWA

**DIAGNÓSTICO DA MATURIDADE DE EMPRESA DO POLO
INDUSTRIAL DE MANAUS SOB MÉTRICAS DA INDÚSTRIA**

4.0

**Estudo de Caso Comparativo sob a perspectiva da Lei de
Informática**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Linha de Pesquisa: Gestão da Produção e Operações.

Aprovada em

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Sandro Breval Santiago

Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Prof. Dr. Armando Araújo de Souza Júnior, Membro

Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Prof. Dr. Manoel Carlos de Oliveira Júnior, Membro Externo

Faculdade de Estudos Sociais – UFAM

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, que sempre souberam e me ensinaram que a educação é o único caminho sustentável para o crescimento e que jamais devemos parar de estudar.

Aos meus irmãos que sempre foram forte inspiração para que eu pudesse me desenvolver em todas as esferas da vida, pois qualquer coisa que eu possa alcançar sempre terá como alicerce a aliança que construímos desde o nosso nascimento.

Ao Orientador Prof. Dr. Sandro Breval Santiago pelo cuidado, dedicação e disponibilidade inquestionáveis na condução e viabilização da realização deste trabalho.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção que enfrentaram de frente o desafio de ensinar sem dispor de sala de aula e interação presencial no período da pandemia de Covid-19.

À Superintendência da Zona Franca de Manaus e a Universidade Federal do Amazonas que juntos proporcionaram este programa tão valioso para a instituição e para a Zona Franca de Manaus na qualificação dos servidores.

Aos amigos que não negaram apoio durante essa jornada que não foi fácil transpor.

RESUMO

Considerando a quarta revolução industrial em curso no primeiro quarto deste século tendo como principal marca a indústria 4.0 e todas as tecnologias a ela relacionadas, a sua implementação é vista como questão de manutenção da competitividade e sobrevivência das empresas manufatureiras, tornando-se objetivos de governos, academia e empresários. O entendimento do status de cada empresa quanto às métricas que conseguem medir o nível de maturidade em relação à indústria 4.0 é o primeiro passo para se desenvolver estratégias para a digitalização industrial. A região da Zona Franca de Manaus, por possuir economia alicerçada na indústria, é o foco deste trabalho que tem por objetivo obter um diagnóstico a partir de estudo de caso de empresa beneficiária da Lei de Informática pelo fato da indústria 4.0 estar diretamente ligada à pesquisa, desenvolvimento e inovação, que é o cerne da política pública que obriga as empresas usufrutuárias de benefícios fiscais a investirem em PD&I. Para os fins deste trabalho, foram realizados: (i) revisão sistemática da literatura científica; (ii) escolha de um modelo de medição de níveis de maturidade: foi escolhido o modelo PIMM4.0; (iii) aplicação do modelo em empresa beneficiária da Lei de Informática; e (iv) análise crítica dos resultados obtidos. Como resultado, o estudo de caso revelou que o fato de ser obrigada em investir em PD&I, a empresa estudada não possui alto grau de maturidade, o que pode ser motivado por questões que permeiam insegurança técnica e jurídica para aplicação da legislação.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Nível de Maturidade. Zona Franca de Manaus. Lei de Informática

ABSTRACT

Considering the fourth industrial revolution underway in the first quarter of this century, with industry 4.0 and all related technologies as its main brand, its implementation is seen as a matter of maintaining the competitiveness and survival of manufacturing companies, becoming government, academia and entrepreneurs goals. Understanding the status of each company regarding the metrics that can measure the level of maturity in relation to Industry 4.0 is the first step in developing strategies for industrial digitalization. The Manaus Free Trade Zone region, as it has an economy based on industry, is the focus of this work, which aims to obtain a diagnosis from a case study of a beneficiary company of the Informatics Law because industry 4.0 is directly linked to research, development, and innovation, which is the core of the public policy that obliges companies benefiting from tax benefits to investing in RD&I. For the purposes of this work, the following were carried out: (i) a systematic review of the scientific literature; (ii) choice of a model for measuring maturity levels: the PIMM4.0 model was chosen; (iii) application of the model in a company benefiting from the Information Technology Law; and (iv) critical analysis of the results obtained. As a result, the case study revealed that fact of being obliged to invest in RD&I, the studied company does not mean a high degree of maturity, which can be motivated by issues that permeate technical and legal uncertainty for the application of the legislation.

Keywords: Industry 4.0. Maturity Level. The Manaus Free Trade Zone.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da indústria na história	19
Figura 2 - Investimento em PD&I na ZFM – Lei de Informática (em R\$ milhões).....	21
Figura 3 - Macroprocessos do ProKnow-C, enfatizando aqueles utilizados por este trabalho.	22
Figura 4 - Representatividade dos principais periódicos do portfólio bibliográfico e de suas referências	27
Figura 5 – Artigos e seus autores no portfólio bibliográfico.....	28
Figura 6 - Autores mais relevantes do portfólio.	29
Figura 7 – Variáveis do modelo de Schumacher et al. (2019).....	33
Figura 8 – Variáveis do modelo de Schuh et al. (2020) - ACATECH	34
Figura 9 – Objetivos e fases do trabalho.....	37
Figura 10 – Variáveis e Dimensões do modelo PIMM4.0 (AZEVEDO e SANTIAGO, 2019; ALENCAR et al., no prelo).....	39
Figura 11 – Desenho do modelo de Azevedo e Santiago (2019) versão atualizada por Alencar et al. (2022, no prelo) no SmartPLS 3.....	50
Figura 12 – Modelos externo e interno (esquema simplificado)	50
Figura 13 – Resultados dos cálculos em <i>bootstrapping</i> do SmartPLS 3.....	57
Figura 14 – Validade Preditiva (Q2)	58
Figura 15 – Indicadores de Cohen (f2).....	58
Figura 16 – Resultado do MEE com modelo completo.	60
Figura 17 – Níveis de maturidade de cada dimensão pelo PIMM4.0	61
Figura 18 – Estudo de caso aplicado ao modelo de Schumacher et al. (2019)	69
Figura 19 – Estudo de caso aplicado no modelo da ACATECH.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Periódicos de maior impacto e indicadores de relevância Citescore e SJR.	28
Tabela 2 - Artigos produzidos por instituições referenciadas no Portfólio Bibliográfico	30
Tabela 3 - Indicadores extraídos do SmartPLS 3 a partir do modelo estudado	51
Tabela 4 - Variáveis eliminadas do modelo pelo MEE	51
Tabela 5 - Indicadores de qualidade após ajustes recomendados por Ringle et al. (2014).....	52
Tabela 6 - Valores das cargas fatoriais das variáveis observáveis em todos os construtos (avaliação das cargas cruzadas).	53
Tabela 7 - Correlações entre construtos e raízes quadradas de AVE.....	54
Tabela 8- Correlações entre construtos e raízes quadradas de AVE após ajuste	55
Tabela 9 - Indicadores de qualidade após ajustes recomendados por Ringle et al. (2014).....	56
Tabela 10 - R2 calculado para cada construto do modelo.	56
Tabela 11 - Maturidade aplicado ao estudo de caso conforme Schumacher et al. (2019).....	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Definição dos eixos e palavras-chave	23
Quadro 2 - Bases de periódicos resultantes da pesquisa	23
Quadro 3 – Portfólio Bibliográfico Primário	25
Quadro 4 – Artigos adicionados ao Portfólio Bibliográfico Primário	26
Quadro 5 – Códigos dos periódicos	27
Quadro 6 - Códigos dos artigos do portfólio bibliográfico.....	29
Quadro 7 – códigos dos autores mais relevantes do portfólio bibliográfico.....	30
Quadro 8 - Meta Análise dos modelos estudados.....	40
Quadro 9- Níveis de maturidade 2 e 3 do modelo PIMM 4.0	61
Quadro 10 - Variáveis com baixa significância para o modelo (MEE) e variáveis com oportunidades de melhoria (PIMM4.0)	62
Quadro 11 - Análise das diferenças de seleção das variáveis observáveis pelo MEE e PIMM4.0.....	63

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AFC	Análise Fatorial Confirmatória
CAPDA	Comitê das Atividades de Pesquisa e Desenvolvimento na Amazônia
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CAS	Conselho de Administração da Suframa
CIEAM	Centro da Indústria do Estado do Amazonas
CNI	Confederação Nacional Das Indústrias.
CPS	Sistema cyber-físico (do inglês <i>Cyber Physical Systems</i>)
GTAI	Germany Trade & Invest
ICT	Instituição Científica, Tecnológica e de Inovação
IoT	Internet das Coisas (do inglês <i>Internet of Things</i>)
M2M	Máquina à Máquina (do inglês " <i>Machine to Machine</i> ")
MEE	Método de Equações Estruturais
PD&I	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
ProKnow-C	<i>Knowledge Development Process – Constructivist</i>
PwC	PricewaterhouseCoopers
SUFRAMA	Superintendência da Zona Franca de Manaus
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicações
ZFM	Zona Franca de Manaus

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	14
1.2 PROBLEMA	16
1.3 JUSTIFICATIVA	16
1.4 OBJETIVOS	17
1.5 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO E ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2 REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1 INDÚSTRIA 4.0 E A ZFM	19
2.2 REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA	21
2.2.1 Construção do Portfolio Bibliográfico	22
2.2.2 Bibliometria	26
2.2.3. Análise Do Portfólio Bibliográfico	30
3. METODOLOGIA	36
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS	39
4.1. MODELO	39
4.2. META ANÁLISE	40
4.3. APLICAÇÃO DO MODELO	46
4.3.1. Método de Equações Estruturais	46
4.3.2. PIMM4.0 (Azevedo e Santiago (2019) versão atualizada por Alencar et al. (2022, no prelo))	60
4.4. ANÁLISE COMPARATIVA	65
4.4.1. Modelo de Schumacher et al. (2019)	66
4.4.2. Portaria nº 2.091, de 17 de dezembro de 2018 (BRASIL, 2018b) / Modelo ACATECH (SCHUH et al., 2020)	69
4.5. AVALIAÇÃO DO RESULTADO NO CONTEXTO DA ZFM E LEI DE INFORMÁTICA	72
5. CONCLUSÃO	76
6. REFERÊNCIAS	80
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DE NÍVEL DE MATURIDADE EM INDÚSTRIA 4.0	85
APÊNDICE B – RESPOSTAS AO QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DE NÍVEL DE MATURIDADE EM INDÚSTRIA 4.0	92
APÊNDICE C – DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS DO MODELO PIMM4.0	94

APÊNDICE D - RELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DE Schumacher et al. (2019) e Azevedo e Santiago (2019).....	96
APÊNDICE E - RELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DE Schuh et al. (2020) e Azevedo e Santiago (2019).....	101
ANEXO A: TABELA PARA CLASSIFICAÇÃO DA EMPRESA CONFORME PORTARIA Nº 2.091/2018 (BRASIL, 2018b)	103

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A indústria 4.0 é, segundo diversos autores, o símbolo da quarta revolução industrial (SCHUH et al., 2020; GTAI, 2016; SCHUMACHER *et al.* 2016; GHOBAKHLOO, 2018; CASTELO-BRANCO *et al.*, 2019), sendo marcada pela aplicação de sistemas cyber-físicos (CPS) que, segundo GTAI (2014), unem os mundos virtual e real em um único, no qual, a partir da aplicação de inteligência artificial serve como base para tecnologias enumeradas por Azevedo e Santiago (2019) como sendo internet das coisas (IoT), *Big Data*, computação na nuvem, manufatura aditiva.

Sendo considerada como o estado da arte tratando-se de manufatura, Schumacher *et al.* (2016) avaliam que a integração das tecnologias afetas à indústria 4.0 devem tomar espaço em toda a cadeia de valor (nível horizontal), abrangendo fornecedores e clientes, bem como em todas as fases da produção (nível vertical), obrigando o envolvimento interno e externo à empresa no sentido da transformação digital.

Embora já seja objeto de estudo há duas décadas, considerando-se como referência o nascimento do termo “Industrie 4.0” em 2011 na Feira de Hannover, tornando-se tema prioritário pelo Governo Alemão, seguido, na União Europeia por Áustria, França, Itália Suíça e Reino Unido, e na Ásia, por Japão, China e Coreia do Sul (REISCHAUER, 2018), no Brasil, há muito trabalho a ser feito em várias dimensões.

Tendo em vista que empresas bem sucedidas tendem a ser aquelas que terão produtos físicos com funcionalidades digitais com serviços inovativos, tendo como princípio meios de produção também digitais e interligados em toda a cadeia de valor (DE CAROLIS, 2017) e que de acordo com Zaoui e Souissi (2020), medir em que estágio a empresa se encontra quanto à indústria 4.0 é a etapa que antecede a definição das estratégias a serem admitidas para que haja a transformação digital, entende-se que se faz necessário conhecer o *status* a fim de se definir recursos financeiros, humanos e de tempo para a implantação de tecnologias afetas à quarta revolução industrial.

Schumacher *et al.* (2016) definem maturidade como sendo a medida do estado em que uma organização ou um processo se encontra em relação a um determinado

objetivo, diferenciando de prontidão, pelo fato deste tentar capturar o ponto de partida a fim de se iniciar o processo de desenvolvimento. Os mesmos autores avaliaram diversos modelos de medição para obter a melhor forma de se medir a maturidade de uma empresa (indicadores e graduação), chegando à conclusão de que todos apresentam *gaps*, seja na determinação de indicadores, seja na definição das graduações.

Em estudo intitulado “Indústria 2027” pelo Instituto Euvado Lodi – IEL a pedido da Confederação Nacional da Indústria – CNI realizado em 2017, fica evidenciado que no Brasil a utilização de tecnologias digitais pelas empresas ainda é nascente, sendo que naquele ano, verificou-se que 75% da amostragem estudada ainda se encontra (i) realizando pedido a fornecedores por meio eletrônico, porém sem suporte informatizado; (ii) desenvolvendo produtos sem utilização de sistemas integrados para gestão de dados de produtos e processos; (iii) com automação da produção parcial ou total sem integração de sistemas; (iv) vendas com automação, porém sem sistema baseado na internet; e (v) com gestão do negócio fora da internet sem bases de dados de apoio das decisões para o negócio. Tais constatações colocam as empresas pesquisadas entre os níveis 1 e 2 do total de 4 graduações (IEL, 2018), tendo como parâmetro de avaliação a utilização das empresas de tecnologias atualmente consideradas disruptivas nos processos produtivos.

Mais especificamente na Zona Franca de Manaus (ZFM), Oliveira e Correia (2019) indicam que o Fordismo/Taylorismo não foi suplantado pelas empresas, podendo ser observadas ilhas de modernidade e sofisticação tecnológica, ou seja, corrobora com o estudo do IEL realizado em âmbito nacional demonstrando que há predominância da produção observada na segunda e terceira revoluções industriais.

A ZFM é uma área de exceção no Brasil, haja vista que, com a finalidade de incentivar a implantação de fábricas na região abrangida pela Amazônia Ocidental e Estado do Amapá, as quais são geograficamente isoladas em função da preservação da Floresta Amazônica, os Governos Federal e Estadual concedem benefícios fiscais, viabilizando a permanência de empresas.

Do ponto de vista legal, dentre as empresas da ZFM, as fabricantes de bens de informática, para usufruir dos benefícios, devem aplicar parcela de seu faturamento em pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) na região abrangida pela Amazônia Ocidental e estado do Amapá por força da Lei nº 8.387, de 30 de dezembro de 1991, a Lei de Informática (BRASIL, 1991).

Sendo uma política de incentivo ao gasto em PD&I com o fim de estimular o complexo eletrônico brasileiro (BRIGANTE, 2017), a Lei teve algumas alterações, sendo uma das mais significativas, a ocorrida em 2016 com a promulgação da Lei nº 13.674, de 11 de junho de 2018, responsável por, entre outras alterações, acrescentar a inovação como parte dos investimentos obrigatórios (até então estavam limitados à pesquisa e desenvolvimento) e a inclusão das aceleradoras como possíveis atores no recebimento de recursos, ou seja, incluiu as chamadas startups (empresas nascentes de base tecnológica) como agentes realizadores de PD&I (BRASIL, 2018a).

Reischauer (2018) defende que a implementação da indústria 4.0 deve ser conduzida pelo sistema conhecido pelo modo tripla-hélice de inovação, envolvendo atores do governo, empresas e academia, devendo o governo desenvolver políticas de incentivo, a academia providenciar PD&I com a finalidade de convergir para implementação nas empresas.

1.2 PROBLEMA

A política pública construída no entorno da Lei de Informática na ZFM fomentou durante décadas PD&I, no entanto, até o presente momento não é possível identificar literatura que mensure benefícios sob a forma de tecnologias de manufatura proporcionada pela mesma em direção à transformação digital.

1.3 JUSTIFICATIVA

Sob a perspectiva de que as revoluções industriais trazem mudanças profundas alicerçadas na ciência e tecnologia com novas formas de se fazer as coisas, indo além de ganhos de eficiência ou redução de custos (DAEMMRICH, 2017), adicionado ao fato de que empresas fabricantes de bens de informática aplicam compulsoriamente em PD&I na ZFM sob o conjunto normativo centralizado na Lei de Informática, torna-se relevante responder se tal obrigação colocou as empresas beneficiárias da Lei em condição de vantagem no caminho da transformação digital.

Observando a dinâmica normativa em torno da política pública centrada na Lei de Informática na ZFM, verifica-se preocupação do governo para que as empresas utilizem esse recurso para modernizar os seus parques fabris no sentido da indústria 4.0.

Tal intenção é materializada (i) na possibilidade de investir parcela da obrigação em sistemas de produção para indústria 4.0 (CAS, 2018); e (ii) na definição de regras para que a possibilidade prevista em (i) possa ser realizada de forma mais segura pela empresa beneficiária (BRASIL, 2018b).

Estando explícitas no arcabouço legal somente em 2018, os seus efeitos, se existentes, devem ser percebidos a partir dos investimentos de 2019.

De outra forma, Brasil (1991) já viabilizava a aplicação da obrigação em formação e capacitação de recursos humanos, projetos de pesquisa e desenvolvimento envolvendo meios de produção, inclusive com construção de protótipos há décadas, sendo discricionária da beneficiária a escolha dos temas dos projetos.

A Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA) é uma autarquia federal ligada ao Ministério da Economia que possui a atribuição legal de acompanhar as disposições da Lei de Informática na ZFM (BRASIL, 1991) e, como resultados aplicados aos investimentos em PD&I avaliou de forma macro os atores que aportaram e que receberam os recursos previstos na legislação gerando estatísticas (SUFRAMA, 2019), no entanto não adentrou nos temas dos projetos executados, inviabilizando a análise dos benefícios gerados aos sistemas de produção.

No entanto, conhecer o conteúdo da utilização dos recursos de PD&I na ZFM não seria suficiente para entender se as empresas beneficiárias da Lei se beneficiaram para modernizar as suas fábricas. Tal condição somente é possível por meio do estudo de maturidade ou prontidão (ZAOUI; SOUSSI, 2020) a fim de gerar informações capazes de definir estratégia de mobilização de pessoas, disponibilização de recursos e tempo.

Nesse sentido, este trabalho traz ineditismo no estudo da relação do nível de maturidade com a utilização de benefício trazido por Lei que obriga o investimento em PD&I.

1.4 OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo realizar estudo de caso sobre o nível de maturidade sob as métricas da indústria 4.0 de empresa da ZFM que possui relação com a obrigação de aplicação em PD&I por força da Lei de Informática.

Para o atingimento do objetivo, este trabalho buscará:

- a) conhecer o estado da arte em termos de métricas de maturidade da indústria 4.0;
- b) escolher um modelo de maturidade;
- c) avaliar grau de maturidade de empresa beneficiada pela Lei de Informática;
- d) comparar o resultado obtido por meio do modelo escolhido com aqueles identificados como estado da arte; e
- e) analisar o resultado obtido no contexto da ZFM e do sistema que se espera ter alcançado diante das obrigações de investimento em PD&I.

1.5 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO E ESTRUTURA DO TRABALHO

Embora conceitualmente diferentes, maturidade e prontidão são tratados por diversos pesquisadores de forma análoga (SCHUMACHER; EROL; SIHN, 2016), desta forma, a prontidão entrou também como referência para a revisão sistemática realizada utilizando-se a ferramenta denominada *Knowledge Development Process – Constructivist* (ProKnow-C).

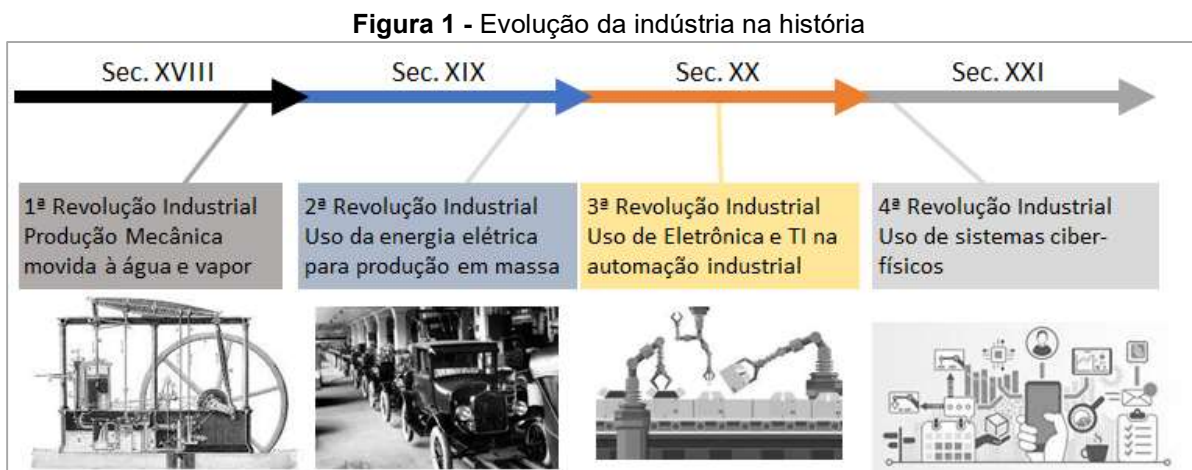
O modelo utilizado foi escolhido tendo como critério autoria, acesso e utilização, tendo sido validado por meio de ferramentas estatísticas a partir de dados coletados em empresas por meio de pesquisa estruturada.

Por fim, foram mensurados os níveis de maturidade utilizando o modelo escolhido em empresa beneficiária da Lei de Informática, simulando, a partir dos dados coletados, o resultado das principais referências obtidas a partir do estudo bibliométrico.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 INDÚSTRIA 4.0 E A ZFM

A história da industrialização mundial possui marcos identificados pela literatura científica por tecnologias que simbolizaram o que se chamam revoluções que, de forma cronológica, podem se ilustradas segundo a Figura 1 (BUHR, 2015; GTAI, 2014; SCHUH et al., 2020), culminando na atual e ainda em curso 4ª Revolução Industrial, marcada pelos sistemas cyber-físicos e simbolizada pelo termo “indústria 4.0”, que tornou-se sinônimo de transformação digital dos meios de produção, tendo como foco tornar plantas industriais hiper conectadas, inteligentes e autônomas (BUHR, 2015; SCHUH et al., 2020; WITTENBERG, 2015) através da utilização de tecnologias da informação e comunicações (TIC) embarcadas em sistemas cyber-físicos envolvendo três paradigmas: (i) o produto, que deve entrar como parte integrante do processo, com endereçamento em si de quais valores devem ser agregados em termos de componentes e serviços; (ii) a máquina , que deve ser autônoma, inteligente e conectada; e (iii) operador, cujas funções são totalmente flexíveis dentro do processo, adaptando-se aos desafios proporcionados pelos sistemas (WEYER et al., 2015).



Fonte: Adaptado a partir de GTAI (2014)

Segundo a GTAI (2016), Buhr (2015) e Reischauer (2018), tal mudança não é realizada tão somente pelas empresas, mas envolve a academia na formação de profissionais, governos na elaboração de políticas públicas, ICT para o desenvolvimento de novas tecnologias, dentre outros atores.

Em estudo realizado mundialmente pela PwC (2016), no qual se inseriu o Brasil, ficou identificado que em 2016, somente 9% das empresas brasileiras se classificavam como em elevado grau de digitalização dos processos, sendo que a mesma pesquisa concluiu que os empresários, à época, acreditavam que este indicador estaria em 72% em 2020.

Complementarmente, em 2018, a CNI (2018) verificou que havia interesse em investir em pelo menos uma das tecnologias digitais relacionadas à indústria 4.0 por 48% das empresas brasileiras pesquisadas, no entanto, em 2020 ficou demonstrado que dada a pandemia de Covid-19, diversos investimentos previstos foram frustrados em função de revisão de demanda ou de alta inesperada dos custos de investir (CNI, 2021).

Na ZFM, contrariamente ao observado pela pesquisa da CNI (2021), as empresas fabricantes de bens de informática cresceram 33,23% de faturamento em moeda nacional em 2020, (CIEAM, 2021), demonstrando aumento na capacidade de realizar investimentos em PD&I, haja vista serem estes compulsórios pelas fabricantes de bens de informática.

A Lei nº 8.387/1991 (BRASIL, 1991), conhecida como Lei de Informática estabelece obrigação de aplicação em PD&I a todas as empresas fabricantes de bens de informática usufrutuárias dos benefícios da ZFM, devendo esses investimentos, equivalentes a 5% do faturamento bruto auferido sobre tais produtos, deduzidos tributos, devoluções e aquisições de insumos também beneficiários da referida Lei, serem compulsoriamente realizados anualmente nos limites da Amazônia Ocidental ou Estado do Amapá (SUFRAMA, 2021; BRASIL, 1991),

Tendo como atividade fim, além da atuação como agência de desenvolvimento regional, o acompanhamento das atividades de PD&I, a SUFRAMA (2021) registrou investimentos nessas atividades, em 2018, de R\$ 681,8 milhões, conforme apresentado na Figura 2, tendo como elegíveis à sua utilização a academia, ICT ou as próprias empresas (BRASIL, 1991).

Figura 2 - Investimento em PD&I na ZFM – Lei de Informática (em R\$ milhões)

Fonte: Adaptado a partir de SUFRAMA (2021).

Além de PD&I que está no contexto do desenvolvimento do caminho para a indústria 4.0, esse tema, na ZFM é explicitamente abordado por duas normas: a Portaria nº 2.091, de 17 de dezembro de 2018 (BRASIL, 2018), que dispõe sobre os investimentos em indústria 4.0 como espécie de aplicação dentro da Lei de Informática; e a Resolução CAPDA nº 9, de 29 de outubro de 2019, que define como prioritário o programa de “INDÚSTRIA 4.0 E MODERNIZAÇÃO INDUSTRIAL” (BRASIL, 2019).

Verificado o grande volume de recursos disponíveis para projetos de PD&I na região, concomitantemente a ações do governo em termos de políticas públicas, é esperado que as empresas detentoras desta obrigação apresentem elevado avanço tecnológico do ponto de vista da indústria 4.0.

Dirimir esta questão perpassa pela medição do nível de maturidade alcançado por empresa beneficiária da Lei de Informática, a fim de se entender se, dentro da ZFM a obrigação legal trouxe avanços aos sistemas de produção.

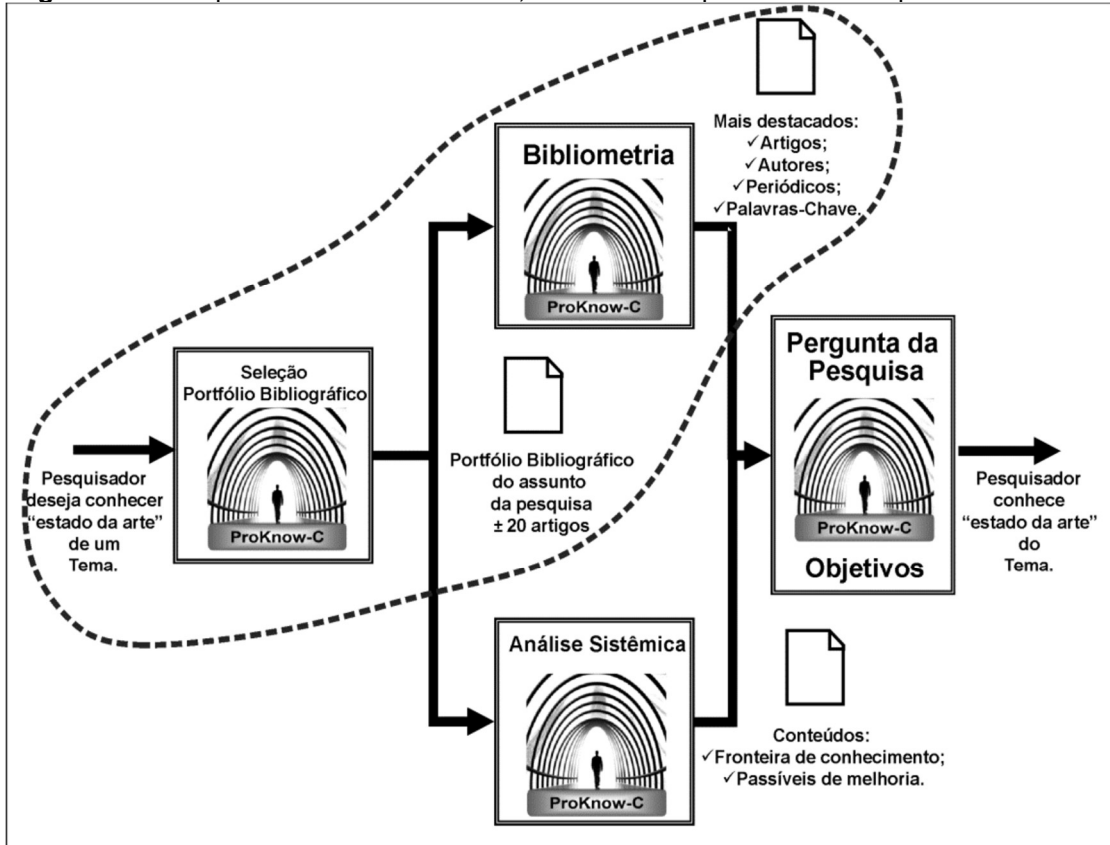
2.2 REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

A obtenção do referencial teórico do cerne deste trabalho, que é a medição do nível de maturidade sob as métricas da indústria 4.0 envolvendo PD&I, foi realizada por Itikawa e Santiago (2021) por meio do *Process Knowledge – Constructivist* (ProKnow-C). Trata-se de metodologia desenvolvida no Laboratório de Metodologias Multicritério em Apoio à Decisão da Universidade Federal de Santa Catarina que, em

função da abundância de informação disponível em uma infinidade de fontes de pesquisa que torna cada vez mais complexo o trabalho do pesquisador na busca das referências mais adequadas à pesquisa que se está realizando (ENSSLIN et al., 2015; ENSSLIN, S.; ENSSLIN, L., 2014), se consolidou como ferramenta de obtenção de portfólio a partir de procuras nas bases de periódicos com a finalidade de se construir referência bibliográfica centrada no objeto da pesquisa a partir do ponto de vista do pesquisador.

O ProKnow-C como sistemática está dividido em macroprocessos (ENSSLIN, L. et al., 2015), dos quais se realizou dois deles neste trabalho, demonstrados na figura 3 e detalhados a seguir:

Figura 3 - Macroprocessos do ProKnow-C, enfatizando aqueles utilizados por este trabalho.



Fonte: Ensslin *et al.*, 2014

2.2.1 Construção do Portfólio Bibliográfico

Refere-se à seleção do conjunto de publicações que comporão o portfólio bibliográfico que ocorre em duas etapas: (i) a seleção do banco de artigos brutos e (ii) o filtro dos artigos selecionados com base no tópico pesquisado.

2.2.1.1 Seleção do Banco de Artigos Brutos

A primeira etapa da seleção do banco de artigos brutos leva em consideração os eixos da pesquisa relacionada ao tema, a partir dos quais são determinadas palavras-chave de consulta (quadro 1). Os eixos definidos levam em consideração o centro focal da pesquisa, ou seja: indústria 4.0; modelo; maturidade; e pesquisa e desenvolvimento.

Tendo como objetivo a obtenção de referências científicas de abrangência mundial, as palavras-chave utilizadas encontram-se no idioma inglês.

Quadro 1 - Definição dos eixos e palavras-chave

Eixos	indústria 4.0	modelo	maturidade	P&D
Palavras-chave	<i>"Industry 4.0"</i>	<i>Model</i>	<i>Maturity</i>	<i>R&D</i>
	<i>"Smart Manufacturing"</i>	<i>Assessment</i>	<i>Readiness</i>	<i>"Research and Development"</i>
	<i>"Digital Transformation"</i>			<i>Innovation</i>
	<i>"Fourth Industrial Revolution"</i>			
	<i>"4th Industrial Revolution"</i>			

Elaborado pelo próprio o autor (2020) base ProKnow-C (ENSSLIN *et al.*, 2015)

As palavras-chave do quadro 1 resultaram em 60 combinações aplicadas no portal de periódicos disponibilizado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), obtendo-se como resultados, publicações disponibilizadas em 20 bases de periódicos.

Ocorre que, das bases selecionadas pelo portal da CAPES, pôde-se concentrar as pesquisas da seguinte forma (quadro 2).

Quadro 2 - Bases de periódicos resultantes da pesquisa

BASE/COLEÇÃO	BASE ORIGEM
<i>Scopus (Elsevier)</i>	Scopus Elsevier
<i>Materials Science & Engineering Database</i>	ProQuest
<i>Advanced Technologies & Aerospace Database</i>	ProQuest
<i>Technology Research Database</i>	ProQuest
<i>Engineering Research Database</i>	ProQuest
<i>Mechanical & Transportation Engineering Abstracts</i>	ProQuest
<i>Computer and Information Systems Abstracts</i>	ProQuest
<i>Civil Engineering Abstracts</i>	ProQuest
<i>Materials Business File</i>	ProQuest
<i>Solid State and Superconductivity Abstracts</i>	ProQuest
<i>Aerospace Database</i>	ProQuest
<i>ANTE: Abstracts in New Technology & Engineering</i>	ProQuest
<i>Materials Research Database</i>	ProQuest
<i>Science Citation Index Expanded (Web of Science)</i>	Web of Science
<i>Social Sciences Citation Index (Web of Science)</i>	Web of Science
<i>Directory of Open Access Journals (DOAJ)</i>	DOAJ
<i>OneFile (GALE)(121)</i>	GALE
<i>SpringerLink(95)</i>	Springer
<i>Taylor & Francis Online – Journals</i>	Taylor & Francis
<i>Emerald Insight</i>	Emerald Insight

Fonte: o próprio autor (2020) com base nos dados extraídos do portal CAPES Periódicos, acesso em 24/7/2020

As pesquisas nas bases relacionadas foram realizadas restringindo-se o período das publicações para os últimos 5 anos, haja vista tratar-se de tema tecnologicamente novo, bem como primou-se por filtrar artigos publicados em periódicos revisados por pares com a finalidade de se obter informações cientificamente confiáveis.

Como resultado, foram obtidos 4.144 artigos que, exportados para o gerenciador de publicações *Mendeley*, pôde-se identificar 57 duplicações.

Pelo fato de o tema ser muito amplo, envolvendo inúmeras tecnologias, aplicadas a diferentes setores econômicos e em diferentes países, foram identificadas 14.791 palavras-chave, não sendo refeita a pesquisa pelo fato da impossibilidade de extrair as mais relevantes para o estudo, tendo em vista que, pelo volume, não ficou evidenciada a preponderância dos termos usados pelos autores. Adiciona-se ainda a quantidade de artigos obtida a partir das pesquisas que possui corpo significativo para a obtenção do portfólio bibliográfico.

2.2.1.2 Filtro do banco de artigos brutos

Foram realizados os seguintes filtros para a avaliação do banco de artigos brutos (4.087 artigos):

- a) alinhamento dos títulos ao tema proposto;
- b) significância dos artigos, base citações coletadas no *Google Scholar*; e
- c) alinhamento dos resumos ao tema proposto

Como produto da análise de títulos, considerou-se oportunamente viável separar os artigos selecionados nesta fase em duas classes de alinhamento: (i) 72 artigos alinhados à medição de maturidade (ou prontidão) das empresas em relação à indústria 4.0; e (ii) 11 artigos que, mesmo de forma indireta, tratam de PD&I, maturidade e indústria 4.0.

Por relevância dos títulos por meio de pesquisa no *Google Scholar* quanto às citações recebidas, foram selecionados: (i) 18 artigos sobre medição e maturidade, relativos a 90% de todas as citações do conjunto avaliado; e (ii) 6 artigos que mesmo de forma indireta trata de PD&I, maturidade e indústria 4.0. Da leitura dos resumos não foi excluído nenhum artigo da coleção formada, resultando no Portfólio Bibliográfico Primário (Quadro 3).

Quadro 3 - Portfólio Bibliográfico Primário

Portfólio Bibliográfico Primário
SCHUMACHER, Andreas; EROL, Selim; SIHN, Wilfried. A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. In: <i>Procedia Cirp</i> , v. 52, p. 161-166, 2016.
SCHUH, Günther <i>et al.</i> Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies – UPDATE 2020. p. 64, 2020. Disponível em: < https://en.acatech.de/publication/industrie-4-0-maturity-index-update-2020/ >.
DE CAROLIS, Anna <i>et al.</i> A maturity model for assessing the digital readiness of manufacturing companies. In: IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems. p. 13-20. 2017
GÖKALP, Ebru; ŞENER, Umut; EREN, P. Erhan. Development of an assessment model for industry 4.0: industry 4.0-MM. In: International Conference on Software Process Improvement and Capability Determination. p. 128-142. 2017.
CASTELO-BRANCO, Isabel; CRUZ-JESUS, Frederico; OLIVEIRA, Tiago. Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing: Evidence for the European Union. In: <i>Computers in Industry</i> , v. 107, p. 22-32, 2019.
AKDIL, Kartal Yagiz; USTUNDAG, Alp; CEVIKCAN, Emre. Maturity and readiness model for industry 4.0 strategy. In: <i>Industry 4.0: Managing the digital transformation</i> . Springer, Cham, p. 61-94, 2018.
KOTARBA, Marcin. Measuring digitalization: Key metrics. In: <i>Foundations of Management</i> , v. 9, n. 1, p. 123-138, 2017.
JUNG, Kiwook <i>et al.</i> An overview of a smart manufacturing system readiness assessment. In: IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems. Springer, Cham, p. 705-712. 2016
COLLI, M. <i>et al.</i> Contextualizing the outcome of a maturity assessment for Industry 4.0. In: <i>lfac-papersonline</i> , v. 51, n. 11, p. 1347-1352, 2018. (conclusão)
SCHAGERL, M; JODLBAUER, H; BRUNNER, M. Readiness model for industry 4.0 - The path to digital transformation . In: <i>Productivity Management</i> , v. 21, n. 4, p. 40–42, 2016
LEE, Jeongcheol <i>et al.</i> A smartness assessment framework for smart factories using analytic network process. In: <i>Sustainability</i> , v. 9, n. 5, p. 794, 2017.
CANETTA, Luca; BARNI, Andrea; MONTINI, Elias. Development of a digitalization maturity model for the manufacturing sector. In: 2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC). IEEE, p. 1-7. 2018
ZAOUI, F; SOUISSI, N. A triaxial model for the digital maturity diagnosis. <i>International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering</i> , v. 9, n. 1, p. 433–439, 2020.
RAJNAI, Zoltán; KOCSIS, István. Assessing industry 4.0 readiness of enterprises. In: 2018 IEEE 16th world symposium on applied machine intelligence and informatics (SAMI). IEEE, 2018. p. 000225-000230. 2018
DE CAROLIS, Anna <i>et al.</i> Maturity models and tools for enabling smart manufacturing systems: comparison and reflections for future developments. In: IFIP international conference on product lifecycle management. p. 23-35. 2017.
BASL, J; DOUCEK, P. A metamodel for evaluating enterprise readiness in the context of industry 4.0. In: <i>Information (Switzerland)</i> , v. 10, n. 3, 2019.
BASL, J; KOPP, Jakub. Study of the Readiness of Czech Companies to the Industry 4.0. In: <i>Journal of Systems Integration</i> , v. 8, n. 3, p. 40–45, 2017.
SCHUMACHER, Andreas; NEMETH, Tanja; SIHN, Wilfried. Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises. In: <i>Procedia Cirp</i> , v. 79, p. 409-414, 2019.
DAEMMRICH, Arthur. Invention, innovation systems, and the Fourth Industrial Revolution. In: <i>Technology & Innovation</i> , v. 18, n. 4, p. 257-265, 2017.
ERRO-GARCÉS, Amaya. Industry 4.0: defining the research agenda. In: <i>Benchmarking: an international journal</i> , 2019.
SHPAK, Nestor <i>et al.</i> Simulation of Innovative Systems under Industry 4.0 Conditions. In: <i>Social Sciences</i> , Ukraine, v. 8, n. 7, jul. 2019. (conclusão)
CIVIDINO, Sirio <i>et al.</i> Evaluating the degree of uncertainty of research activities in Industry 4.0. In: <i>Future Internet</i> , v. 11, n. 9, p. 196, 2019.
KOSACKA-OLEJNIK, Monika; PITAKASO, Rapeepan. INDUSTRY 4.0: STATE OF THE ART AND RESEARCH IMPLICATIONS. <i>LOGFORUM</i> , v. 15, n. 4, p. 475–485, 2019.
ROCHA, Clarissa Figueredo; MAMÉDIO, Diógenes Falcão; QUANDT, Carlos Olavo. Startups and the innovation ecosystem in Industry 4.0. In: <i>Technology Analysis & Strategic Management</i> , v. 31, n. 12, p. 1474-1487, 2019.

Fonte: o próprio autor (2020) com base na metodologia ProKnow-C (ENSSLIN *et al.*, 2015)

Afonso et al. (2012) avalia ainda que, como a significância de artigos recentemente publicados pode ser afetada pela análise de citações, cabe ainda verificar a adequação de publicações realizadas nos dois últimos anos. Sob esse critério, foram adicionadas à lista 3 artigos, quais sejam (quadro 4).

Quadro 4 - Artigos adicionados ao Portfólio Bibliográfico Primário

Artigos selecionados por data
LUCATO, W C <i>et al.</i> Model to evaluate the Industry 4.0 readiness degree in Industrial Companies. In: <i>IFAC-PapersOnLine</i> , v. 52, n. 13, p. 1808–1813, 2019.
SANTOS, Reginaldo Carreiro; MARTINHO, José Luís. An Industry 4.0 maturity model proposal. In: <i>Journal of Manufacturing Technology Management</i> , 2019.
KOHNNOVÁ, L; PAPULA, J. WHO drives innovation activities? Evidence from innovative European countries. 2020, [S.l.: s.n.], p. 227–236. 2020.

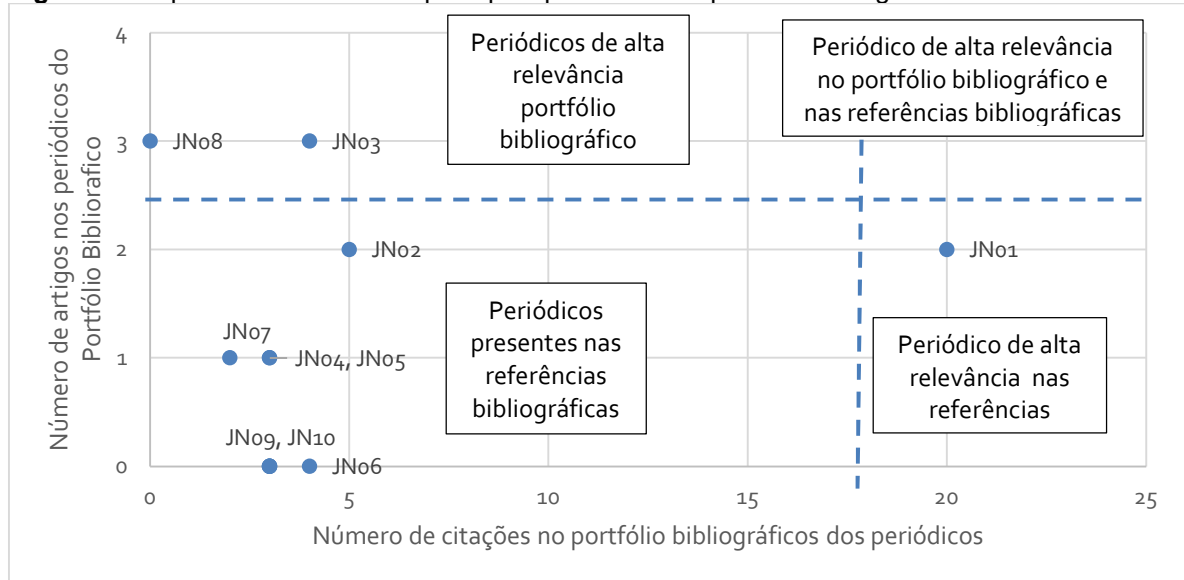
Fonte: o próprio autor (2020) com base na metodologia ProKnow-C (ENSSLIN et al., 2015)

2.2.2 Bibliometria

A partir da seleção dos 27 artigos, analisou-se a bibliometria do conjunto, que, segundo Pimenta et al. (2010), é uma técnica que pela utilização de avaliações quantitativas e estatísticas, pode-se mensurar e compreender a evolução das produções científicas, opinião corroborada por Afonso et al. (2012) e Ensslin et al, (2015) que a realizam sobre o Portfólio Bibliográfico Primário em 3 etapas: (i) relevância dos periódicos; (ii) relevância dos autores; e (iii) palavras-chave mais utilizadas.

2.2.2.1 Relevância dos Periódicos

O Portfólio Bibliográfico formado antes da seleção de artigos por relevância de citações era composto por 83 artigos publicados em 56 periódicos, sendo que 2 deles são considerados os mais relevantes totalizando 3 publicações no portfólio: *Lecture Notes in Mechanical Engineering* e *IFAC-PapersOnLine*. Das referências desses artigos, foram identificados 211 periódicos e eventos, dos quais serão apresentados graficamente (figura 4) somente os que apresentaram maior relevância (publicou o artigo do portfólio bibliográfico e/ou publicou artigo referenciado), sendo que para este estudo, somente aqueles que apresentaram mais do que 3 ocorrências estão graficamente demonstradas, cujos códigos apresentam-se no quadro 5.

Figura 4 - Representatividade dos principais periódicos do portfólio bibliográfico e de suas referências

Fonte: o próprio autor (2020) com base na metodologia ProKnow-C (ENSSLIN et al., 2015)

Verifica-se que o periódico *Procedia CIRP* (JN01) é considerado de alta relevância nas referências bibliográficas. Destacando-se com o status de alta relevância no portfólio bibliográfico estão os periódicos *IFAC-Papers online* (JN03) e *Lecture Notes in Mechanical Engineering* (JN08).

Quadro 5 - Códigos dos periódicos

Código	Periódico	Código	Periódico
JN01	<i>Procedia CIRP</i>	JN06	<i>MIS Quarterly</i>
JN02	<i>Computers in Industry</i>	JN07	<i>Industrial Management & Data Systems</i>
JN03	<i>IFAC - PapersOnLine</i>	JN08	<i>Lecture Notes in Mechanical Engineering</i>
JN04	<i>International Journal Product.</i>	JN09	<i>Business & Information Systems Engineering</i>
JN05	<i>Manufacturing letters</i>	JN10	<i>Procedia Computer Science</i>

Fonte: o próprio autor (2020) com base na metodologia ProKnow-C (ENSSLIN et al., 2015)

O impacto científico dos 10 periódicos foi também verificado sob as métricas *CiteScore*, que é obtido pela soma de citações de um periódico em um determinado ano com as recebidas nos últimos 3 anos, dividido pela soma das mesmas citações dos últimos 3 anos; e o *SJR* (*SCImago Journal Rank*), que mede o prestígio de um periódico pelo link de citação dos artigos (ELSEVIER, 2020). O resultado está expresso na tabela 1, no qual é possível verificar que os periódicos mais relevantes em termos de presença e citações no portfólio bibliográfico não são os mais citados base os indicadores *Citescore* e *SJR*.

Tabela 1 - Periódicos de maior impacto e indicadores de relevância Citescore e SJR.

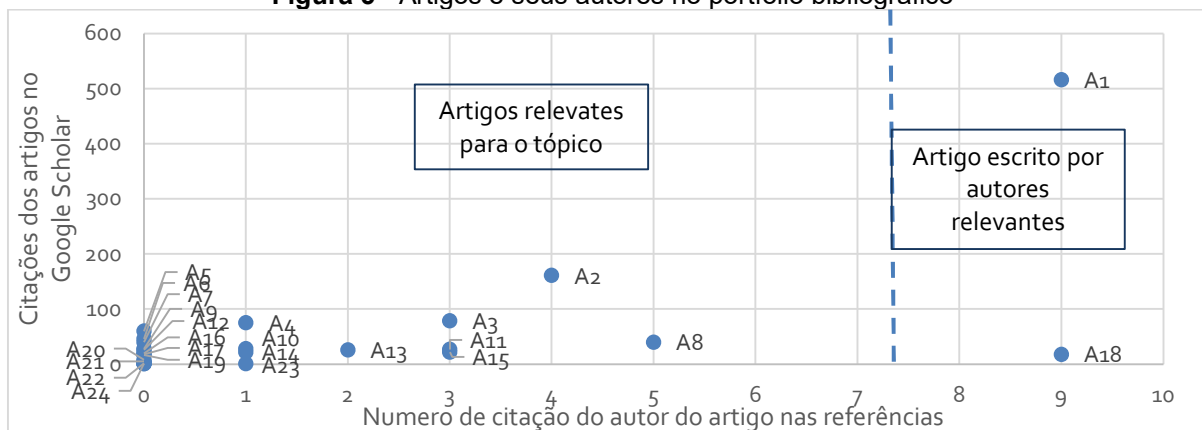
Periódicos	Artigos no portfólio bibliográfico	Citações Portfólio	CiteScore	SJR
Procedia CIRP	2	20	3,6	0,728
Computers in Industry	2	5	10	1,007
MIS Quarterly	0	4	11	4,531
IFAC - PapersOnLine	3	4	1,6	0,332
International Journal Product. Res	1	3	7,6	1,776
Business & Information Systems Engineering	0	3	7,6	1,306
Manufacturing letters	1	3	4,6	0,855
Procedia Computer Science	0	3	2,5	0,342
Industrial Management & Data Systems	1	2	9,1	2,084
Lecture Notes in Mechanical Engineering	3	0	0,5	0,165

Fonte: o próprio autor (2020) com base na metodologia ProKnow-C (ENSSLIN et al., 2015)

Verificando no Banco de Artigos Brutos as obras dos periódicos melhor colocados nos supracitados indicadores, não foi possível identificar textos que estejam alinhados ao tema para a inclusão no portfólio bibliográfico, o qual se manteve o mesmo.

2.2.2.2 Relevância científica dos artigos

A relevância científica dos artigos do portfólio bibliográfico foi medida base a quantidade de citações do portfólio bibliográfico em consulta no Google Scholar, e a sua relação o número de citações de artigos do autor principal nas referências dos artigos do portfólio bibliográfico (Figura 5).

Figura 5 - Artigos e seus autores no portfólio bibliográfico

Fonte: o próprio autor (2020) com base na metodologia ProKnow-C (ENSSLIN et al., 2015)

As referências dos artigos codificados na figura 5 encontram-se no quadro 6:

Quadro 6 - Códigos dos artigos do portfólio bibliográfico.

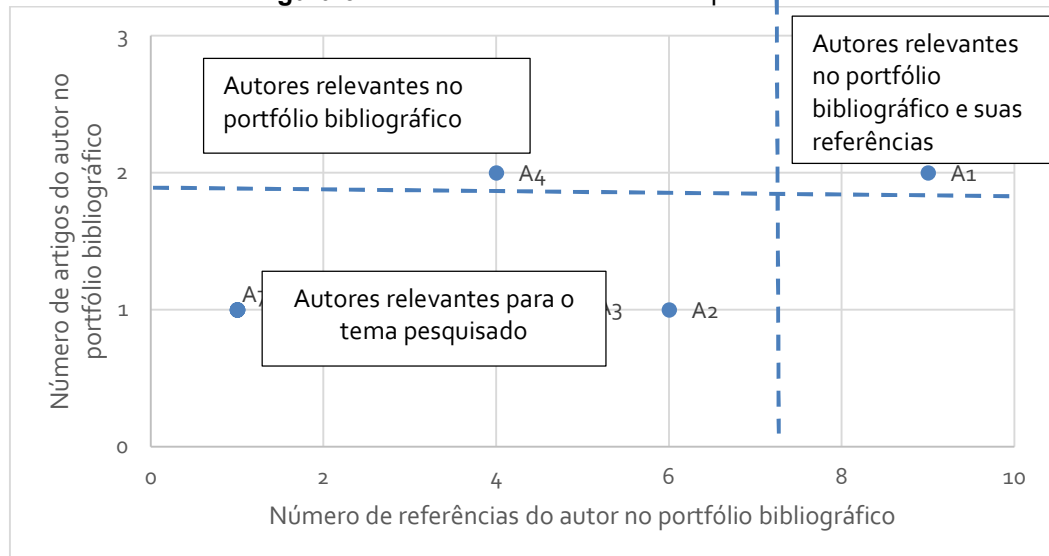
Artigo	Código	Artigo	Código
SCHUMACHER, A <i>et al.</i> 2016	A1	DE CAROLIS, A <i>et al.</i> 2017.	A15
SCHUH, Günther <i>et al.</i> 2020.	A2	BASL, J.; DOUCEK, P. 2019	A16
DE CAROLIS, A. <i>et al.</i> 2017	A3	BASL, J.; KOPP, J. 2017	A17
GÖKALP, E. <i>et al.</i> 2017.	A4	SCHUMACHER, A <i>et al.</i> 2019.	A18
CASTELO-BRANCO, I <i>et al.</i> 2019.	A5	DAEMMRICH, A. 2019.	A19
AKDIL, K.Y. <i>et al.</i> 2018.	A6	ERRO-GARCÉS, A. 2019.	A20
KOTARBA, M. 2017.	A7	SHPAK, Nestor <i>et al.</i> 2019.	A21
JUNG, K <i>et al.</i> 2016	A8	CIVIDINO, S <i>et al.</i> 2019.	A22
COLLI, M. <i>et al.</i> 2018.	A9	KOSACKA-OLEJNIK, M.; PITAKASO, R. 2019.	
SCHAGERL, M.; <i>et al.</i> 2016.	A10	ROCHA, C. F. <i>et al.</i> 2019.	A23
LEE, J. <i>et al.</i> 2017.	A11	LUCATO, W. C. <i>et al.</i> 2019.	
CANETTA, L <i>et al.</i> 2018.	A12	SANTOS, R. C.; MARTINHO, J. L. 2019.	A24
ZAQUI, F.; SOUISSI, N. 2020.	A13	KOHNOVÁ, L.; PAPULA, J. 2020.	
RAJNAI, Z.; KOCSIS, I. 2018.	A14		

Fonte: os próprios autores (2020) com base na metodologia ProKnow-C (ENSSLIN *et al.*, 2015)

2.2.2.3 Nível de Relevância dos Autores

A relevância dos autores é dada pela quantidade de artigos dentro do portfólio bibliográfico e dentro das referências do mesmo (ENSSLIN, L. *et al.*, 2015). O portfólio bibliográfico contempla 74 autores, dos quais Schumacher, A. e De Carolis, A. respondem por dois artigos cada. Nas referências bibliográficas encontram-se 225 autores de obras citadas nos artigos do portfólio bibliográfico, dos quais Schumacher, A. se encontra em 9 referências, sendo também o destaque nesse eixo (figura 6).

Figura 6 - Autores mais relevantes do portfólio.



Fonte: o próprio autor (2020) com base na metodologia ProKnow-C (ENSSLIN *et al.*, 2015)

Em função da quantidade de autores no portfólio, é impossível a representação gráfica de todos, sendo que aqueles dispostos na Figura 6 estão codificados segundo o quadro 7.

Quadro 7 - códigos dos autores mais relevantes do portfólio bibliográfico.

Autores	Códigos	Autores	Códigos
Schumacher, A.	A1	Jodlbauer, H	A6
Schuh, G.	A2	Cruz-Jesus, F.	
Jung, K.	A3	Anderl, R.	A7
Erol, S.		Facchini, F.	
Macchi, M.		Nemeth T	
De Carolis, A.	A4	Oliveira, T.	
Lee, J.	A5	Rajnai, Z.	
Zaoui, F.		Lucato, W.C.	
		Madsen O.	

Fonte: o próprio autor (2020) com base na metodologia ProKnow-C (ENSSLIN et al., 2015)

Além dos autores relacionados no portfólio bibliográfico, ficou evidente nesta pesquisa que publicações realizadas por entidades que estudam a evolução da indústria possuem obras também bastante referenciadas, as quais não se encontram nos periódicos consultados. São eles (tabela 2):

Tabela 2 - Artigos produzidos por instituições referenciadas no Portfólio Bibliográfico

Entidade	Título	Número de referências no portfólio bibliográfico
Pricewaterhouse	The Industry 4.0/Digital Operations Self Assessment	3
Coopers (PwC)	Industry 4.0: Building the digital enterprise	4
McKinsey &	Industry 4.0 after the Initial Hype	4
Company	Industry 4.0: How to navigate digitalization of the manufacturing sector	3

Fonte: o próprio autor (2020) com base na metodologia ProKnow-C (ENSSLIN et al., 2015)

2.2.3. Análise Do Portfólio Bibliográfico

O portfólio bibliográfico obtido pode ser dividido em três classes distintas dentro da temática proposta, quais sejam:

- a) modelos de maturidade em indústria 4.0: os primeiros 18 artigos do quadro 7;
- b) PD&I relacionado à implementação das tecnologias relacionadas à indústria 4.0: os 6 últimos artigos do quadro 7; e

- c) publicações de entidades representativas que estudaram a indústria 4.0 e que não se encontram disponíveis em periódicos: tabela 2.

Os modelos de maturidade, pelo fato de se constituírem como a primeira etapa para a elaboração do plano estratégico rumo a implementação das tecnologias ligadas ao conceito de manufatura inteligente (ZAOUI; SOUISSI, 2020; DE CAROLIS et al., 2017), possuem maior relevância no portfólio bibliográfico, resultando em maior volume científico desta parcela do tema.

A maturidade indica se algo está completo, perfeito ou pronto, ou seja, indicadores de maturidade são utilizados para identificar o status atual dentro de um processo de desenvolvimento e os indicadores de prontidão, dão indicativos prévios à maturidade, no entanto, ambos são utilizados para os fins de aferição das métricas de indústria 4.0 como sinônimos (SCHUMACHER *et al.*, 2016), assim, foram desenvolvidos diversos indicadores amplamente utilizados, exemplificados pelo Nível de Prontidão Tecnológica (TRL), que mede a maturidade tecnológica do ponto de vista comercial (inovação) ou o Nível de Prontidão em Manufatura (MRL), que indica a maturidade tecnológica de um processo produtivo, não sendo possível, por meio destas, um diagnóstico amplo sobre da indústria 4.0 (JUNG et al., 2016).

Tendo como pilar a implementação de tecnologias em processos produtivos, é importante entender como o fato da indústria 4.0 não abordar tão somente a aplicação de inovações nas empresas, Buhr (2015) entende que a quarta revolução industrial não afeta somente os processos produtivos por meio de disrupturas provocadas por criação de valor, mas, envolvendo a forma como se produz, afeta as pessoas das empresas e tem efeitos inclusive na sociedade.

Não é possível conceber a manufatura inteligente somente aplicando tecnologias emergentes como inteligência artificial, realidade aumentada, computação na nuvem, internet das coisas, impressão 3D, entre outras, que possuem relação direta com produtos, manufatura e logística, sem que outros aspectos tais como cultura da empresa, pessoas qualificadas para trabalhar com dados e de forma flexível e clientes e fornecedores adeptos à constituir uma cadeia de valor interligada (PWC, 2021; WEYER *et al.*, 2015; BUHR, 2015; AZEVEDO E SANTIAGO, 2019). Nesse sentido, o portfólio obtido identificou modelos de maturidade ou prontidão que tratam a indústria 4.0 sob diversas métricas comumente denominadas dimensões.

Assim, Schumacher et al. (2016), identificaram 62 variáveis de controle dispersas em 9 eixos representados em um gráfico de radar, sendo que cada item

possui 5 níveis medidos por meio do preenchimento de um questionário e processado por software específico para a obtenção gráfica do resultado. O cálculo do resultado de cada dimensão considera ainda um sistema de relevância de cada variável dentro do conceito de indústria 4.0 para obtenção de média ponderada.

No estudo realizado por De Carolis et al. (2017), a maturidade na transformação digital é medida em 4 dimensões e 5 variáveis, no entanto sem demonstração de resultados quanto à auditoria realizada utilizando o modelo desenvolvido.

Não havendo encontrado na literatura estudos quantitativos para ser usados para a identificação do nível de implementação da indústria 4.0 em países ou empresas, Castelo- Castelo-Branco; Cruz-Jesus e Oliveira (2019) utilizaram medições publicadas pela Eurostat referentes a indicadores de digitalização na indústria Europeia. Utilizando o método de análise de fatores, chegou a duas dimensões: a infraestrutura em 4.0 e a maturidade em Big Data, as quais são expressas por meio de 9 indicadores de controle.

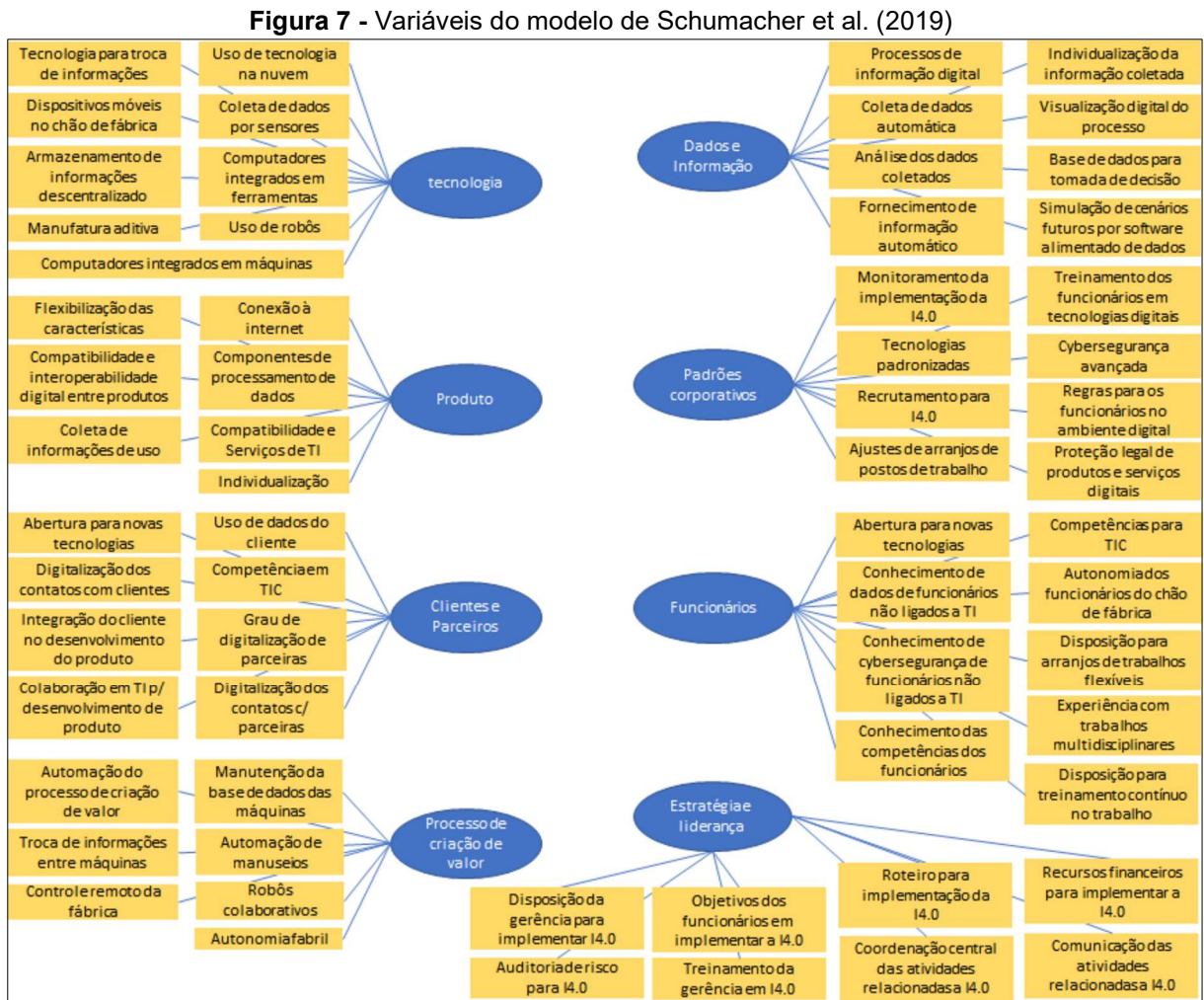
Tendo como base da pesquisa um fluxo detalhado de etapas para a definição de modelo de medição de maturidade, Schumacher et al. (2019), construíram um sistema composto por 8 eixos avaliados em 65 variáveis de medidas por meio de questionários estruturados por quatro níveis de maturidade, exemplificando com uma situação real, sendo que, se preenchido com graus 3 ou 4 de maturidade, o participante deve incluir um exemplo que sustente a sua resposta a fim de se ganhar acurácia na coleta de informações. O valor final de cada variável analisada corresponde à média das respostas e o do eixo analisado é o resultado da média ponderada, considerando o peso de cada variável. Os resultados são também apresentados em gráfico de radar.

Do referencial teórico no qual houve desenvolvimento de modelo de medição de nível de maturidade, verifica-se como a mais relevante, bem como consistente quanto à avaliação prévia de outras metodologias desenvolvidas por outros autores ou instituições, a obra de Schumacher et al. (2016), ora revisada por Schumacher et al. (2019).

Foram analisadas por Schumacher et al. (2016) os modelos de importantes instituições / empresas tais como IMPULS, Pricewaterhouse Coop. e Rockwell Automation, de onde partiu o desenvolvido pelos próprios autores, seja como referências a não ser utilizadas pela ausência de profundidade quanto à avaliação das

variáveis, ou como referência bem fundamentada, como citado a respeito do modelo IMPULS.

Na última obra, o modelo de maturidade dos referidos autores foi construído considerando a pontuação das seguintes variáveis (Figura 7):



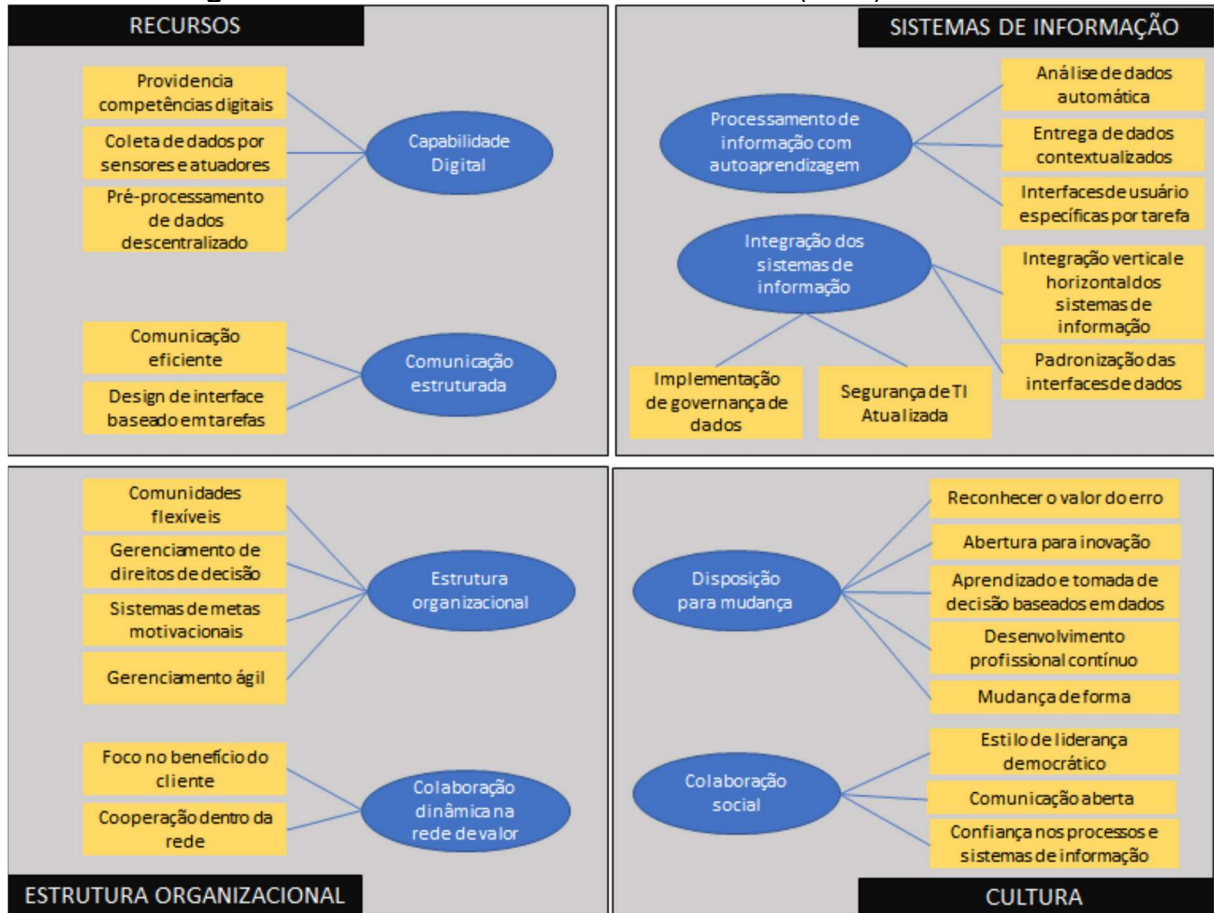
Fonte: o próprio autor (2020) com base Schumacher *et al.* (2019)

Os autores não deixam claro a interrelação entre os construtos, estabelecendo-se somente as relações entre variáveis e construtos (dimensões), os quais são obtidos a partir da média ponderada das respostas de cada variável, aplicando-se sobre cada resultado o peso relativo à variável em relação às demais dentro da dimensão.

No trabalho realizado para a ACATECH, Schuh *et al.* (2020) desenvolveram modelo estruturado em quatro grandes pilares que estruturam o grau de maturidade em indústria 4.0, quais sejam: recursos, sistemas de informação, estrutura organizacional e cultura.

Assim, o modelo utilizado pela ACATECH está estruturado conforme ilustrado na figura 8:

Figura 8 - Variáveis do modelo de Schuh et al. (2020) - ACATECH



Fonte: o próprio autor (2022) com base Schuh *et al.* (2020)

O modelo de Schuh *et al.* (2020) é também a referência utilizada na elaboração da norma que regulamenta a execução de projetos de implantação de tecnologias afetas à indústria 4.0 na esfera dos investimentos compulsórios em PD&I na Zona Franca de Manaus por força da Lei de Informática (BRASIL, 2018b).

Brasil (2018b) estabelece ainda que a empresa interessada em realizar investimentos caracterizados como de PD&I no âmbito da Lei de Informática, deverá alcançar o estágio 3, que é da Visibilidade, definido por Schuh *et al.* (2020) como sendo aquele no qual a planta é monitorada em tempo real por sensores que projetam o estado de cada etapa do processo em sua sombra digital, possibilitando que decisões sejam tomadas com base em dados reais a qualquer momento.

A aferição do estágio de maturidade para o atendimento da norma, contudo, possui métricas próprias baseadas em seis perguntas com respostas binárias

relacionadas à disponibilidade (i) de registros digitais no processo ou subprocesso; (ii) de informações digitais automaticamente transmitidas ao longo do processo; (iii) de interface do processo ou subprocesso com algum sistema de gestão a partir do qual é possível o monitoramento de indicadores-chave de desempenho; (iv) de capacidade do processo ou subprocesso de gerar relações de causa e efeito das variáveis de qualidade e produtividade do produto no processo; (v) da possibilidade das relações de causa e efeito serem utilizadas pelo sistema para gerar cenários futuros em tempo real; e (vi) da capacidade do sistema do processo e subprocesso de corrigir ou otimizar a produção de acordo com os cenários simulados (BRASIL, 2018b).

3. METODOLOGIA

O presente trabalho possui como natureza ser pesquisa aplicada uma vez que procura estudar, a partir de conhecimento preexistente, níveis de maturidade envolvendo variáveis (GIL, 2017, p.32-33). Possui, portanto, abordagem quantitativa por trabalhar matematicamente os dados com a finalidade de entender o *status* das empresas avaliadas (FONSECA, 2002, p. 20).

Quanto aos objetivos, classifica-se por ser exploratória, pois inicia-se pelo estudo da literatura científica e identificação de modelos de medição de níveis de maturidade nas métricas relacionadas à indústria 4.0 com a finalidade de, por meio de coleta de dados diagnosticar o grau de maturidade de empresas beneficiárias da Lei de Informática (GIL, 2017, p.33).

Por fim, para a obtenção dos seus objetivos, serão realizados procedimentos bibliográficos, pesquisa com *survey* e estudo de caso.

Tem por base ser pesquisa bibliográfica e documental fundamentada em literatura científica, como artigos extraídos em periódicos e livros, bem como em fonte documental produzida pelo governo como portarias, resoluções e decretos.

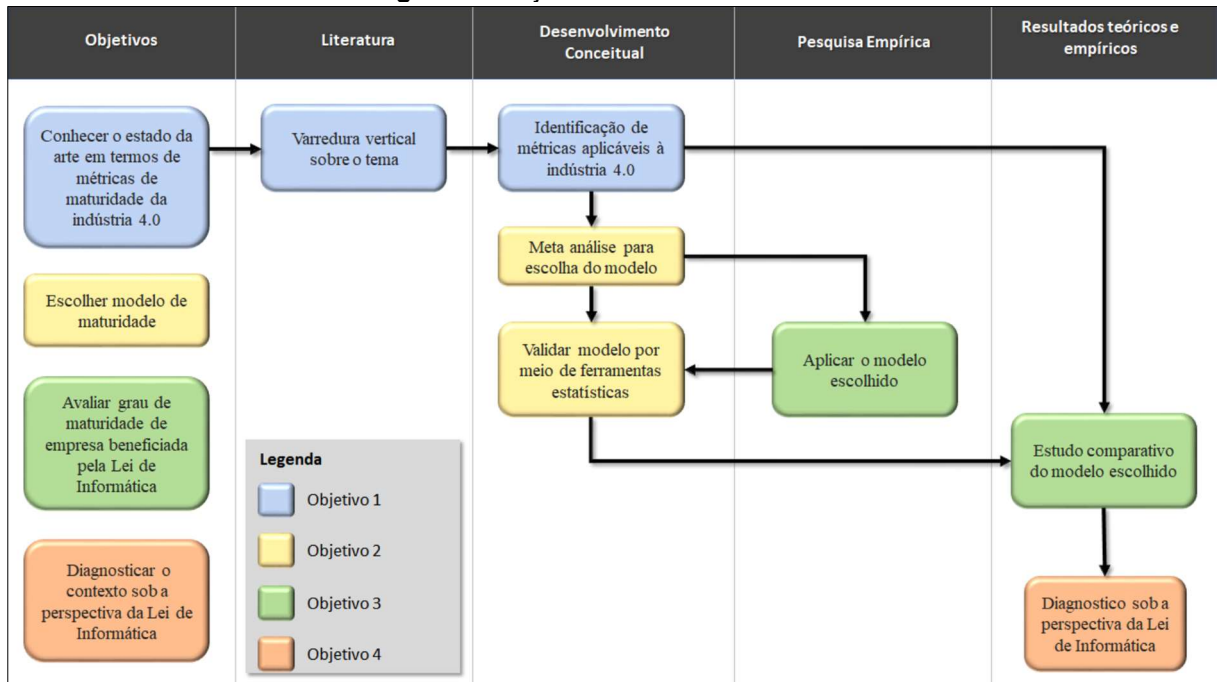
O estudo bibliográfico se consitiuiu na seleção do conjunto de publicações que comporão o portfólio bibliográfico excutado em duas etapas, a saber: (i) a seleção do banco de artigos brutos e (ii) o filtro dos artigos selecionados com base no tópico pesquisado por meio da metodologia ProKnow-C.

Tendo em vista que o tema do trabalho é a realização de um diagnóstico de empresas da ZFM com base em métricas de níveis de maturidade em indústria 4.0, universo desta pesquisa é o total das empresas usufrutuárias dos benefícios fiscais.

A figura 9 ilustra as etapas a serem percorridas por este trabalho, que se iniciou pelo estudo bibliográfico do tema, com a finalidade de se identificar o estado da arte em termos de modelos de maturidade e prontidão em indústria 4.0.

Assim, buscou-se literatura que relacionasse a maturidade com PD&I sob a forma realizada na ZFM, que trata da conceção de benefícios fiscais para que a iniciativa privada invista na transformação digital dos seus parques fabris. Sobre este aspecto, verificou-se um *gap* quanto à estudos prévios realizados, restando a sua verificação por conta desta pesquisa.

Figura 9 - Objetivos e fases do trabalho



Fonte: Adaptação modelo Santiago (2017).

O modelo de medição de nível de maturidade utilizado por este trabalho foi definido considerando a aderência ao estado da arte no tema, e que ao mesmo tempo, seja de fácil aplicação nas empresas localizadas na Zona Franca de Manaus quanto à linguagem, coleta de dados, e ligação das variáveis aos processos produtivos, possibilitando um diagnóstico mais preciso.

A partir da escolha do modelo, realizou-se uma meta análise na qual as variáveis do modelo escolhido foram comparadas com aquelas oriundas dos modelos obtidos do resultado do estudo bibliográfico.

Constatou-se que a medição de maturidade é um tema bastante explorado pela literatura científica mundial, assim, não foi parte desta pesquisa o desenvolvimento de um novo modelo, mas a escolha de um que utilize variáveis em dimensões abrangidas pelas principais referências.

As referências obtidas pela revisão sistemática demonstram ainda que todos os modelos utilizam múltiplas variáveis agrupadas em construtos, denominados de dimensões nos artigos estudados, os quais se resumem em um indicador de maturidade ou prontidão da empresa nas métricas de indústria 4.0.

Dado que se trata de pesquisa quantitativa (nível de maturidade sob métricas da indústria 4.0), a partir da meta análise realizada, foi elaborado questionário, cujas perguntas tiveram como base as variáveis do modelo escolhido, incluindo as

características das variáveis dos modelos identificados como estado da arte pelo estudo de literatura.

A escolha da empresa objeto do estudo de caso foi realizada a partir de dados publicados pela SUFRAMA (2022), que, pelo fato de dispor tão somente do faturamento global das empresas fabricantes de bens de informática e a sua quantidade, optou-se, por conveniência, escolher aquela que auferiu faturamento médio.

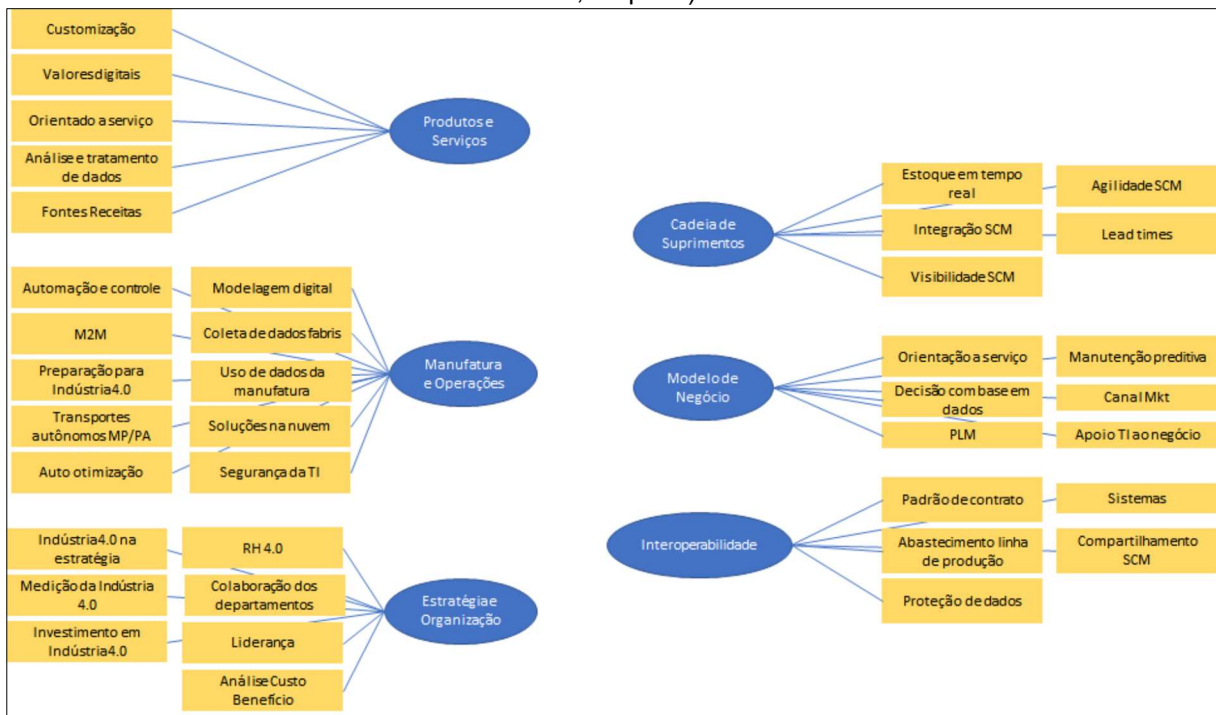
Quanto à amostragem à qual foi submetida a pesquisa, é importante verificar que o universo a ser considerado na empresa não equivale ao total de funcionários, pois a implementação da indústria 4.0 envolve conhecimentos com visão estratégica do negócio, mas de forma geral os postos de trabalho ocupados pelos trabalhadores operacionais dispensam a qualificação aprimorada na compreensão do processo e na dinâmica de trabalho (OLIVEIRA E CORREIA, 2019). Nesse sentido, o universo a ser considerado pela pesquisa terá como sujeitos da pesquisa os ocupantes cargos de gestão, engenheiros, profissionais atuando em posições chave da área de logística, excluindo, portanto, o nível operacional.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. MODELO

A ferramenta PIMM4.0 foi desenvolvida por Azevedo e Santiago (2019) em versão revista por Alencar *et al.* (2022, no prelo), em versão mais para diagnosticar a maturidade de indústria 4.0 de empresas brasileiras e foi construído em plataforma que considera seis dimensões obtidas a partir da medição de 38 variáveis, conforme esquematizado na Figura 10.

Figura 10 - Variáveis e Dimensões do modelo PIMM4.0 (AZEVEDO e SANTIAGO, 2019; ALENCAR *et al.*, no prelo)



Fonte: O próprio autor (2022) com base em Azevedo e Santiago (2019) e Alencar *et al.* (2022, no prelo)

Como resposta da aplicação do modelo, os autores definiram quatro níveis de maturidade, a saber: (i) nível 1 – Digital: a empresa apresenta baixa integração da cadeia de valor por meio de TI seja no sentido vertical, seja no horizontal; (ii) nível 2 – Tecnológico: parte da organização possui automação e relativa interligação de processos, no entanto sem capacidade de visibilidade do modelo 4.0; (iii) nível 3 – Transição: há alta integração entre sistemas que permitem a visão geral do negócio, bem como a organização possui iniciativas de automação para ganho de capacidade, transparência e inteligência preditiva; e (iv) nível 4 – Avançado: apresenta alta

otimização de processos e interoperabilidade nos sentidos vertical e horizontal (ALENCAR *et al.*, 2022, no prelo).

4.2. META ANÁLISE

Na obra de Azevedo e Santiago (2019), atualizada por Alencar *et al.* (2022, no prelo) além da análise sobre diversos modelos de medição de nível de maturidade, elabora-se modelo próprio com visão matemática de variáveis e dimensões sob a perspectiva das métricas adotadas, o PIM4.0 (descrição das variáveis no APÊNDICE B). Esse modelo foi colocado em comparação com aqueles identificados como referências no estudo bibliométrico e os resultados se encontram dispostos no quadro 8.

Quadro 8 - Meta Análise dos modelos estudados

(continua)

Azevedo e Santiago (2019)		Schumacher <i>et al.</i> (2019) e Schuh <i>et al.</i> (2020)	Análise
PRODUTOS E SERVIÇOS			
1	Nível de customização	Schumacher <i>et al.</i> (2019) - Flexibilização das características - Individualização	Nível de customização está relacionado a flexibilização das características do produto e individualização (lote mínimo possível = 1)
2	Valor digital	Schumacher <i>et al.</i> (2019) - Uso de dados relacionados a clientes.	A empresa gera valor considerando dados coletados de clientes,
3	Orientado a serviço	Schumacher <i>et al.</i> (2019) - Serviços de TI relacionados a produtos físicos - Compatibilidade e interoperabilidade digital entre produtos	Os produtos são compatíveis para que serviços de TI sejam embarcados, podendo-se ter interoperabilidade digital entre eles.
4	Análise e tratamento de dados	Schumacher <i>et al.</i> (2019) - Coleta de informações - Componentes de processamento de dados - Conexão à internet	Os produtos, por possuírem componentes de processamento de dados e conexão à internet, permitem a coleta de dados de uso do cliente que podem ser utilizados para diversos fins pela empresa.
5	Fontes de Receitas		
MANUFATURA E OPERAÇÕES			
1	Automação e controle	Schumacher <i>et al.</i> (2019) - Uso de robôs - Controle remoto da fábrica - Automação de manuseios - Robôs colaborativos - Controle de qualidade automático - Autonomia fabril	Os processos fabris possuem elevado nível de automação e controle, que permitem a autonomia fabril, controle remoto da fábrica pelo fato de dispor de robôs tradicionais e colaborativos que permitem a automação de manuseios.

Quadro 8 - Meta Análise dos modelos estudados

(continua)

Azevedo e Santiago (2019)		Schumacher <i>et al.</i> (2019) e Schuh <i>et al.</i> (2020)	Análise
2	M2M (Máquina à Máquina, do inglês “ <i>Machine to Machine</i> ”)	<p>Schumacher <i>et al.</i> (2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tecnologia para troca de informações - Computadores integrados em máquinas - Computadores integrados em ferramentas - Troca de informações entre máquinas <p>Schuh <i>et al.</i> (2020)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comunicação eficiente - Entrega de dados contextualizados 	As máquinas e ferramentas são providas de sensores e atuadores que geram dados que são coletados por computadores integrados que realizam pré-processamento e entregam dados contextualizados para que máquinas possam trocar informações, bem como para que estas sejam precisas e online para tomadas de decisão.
3	Preparação para Indústria 4.0	Não há variável relacionada nos modelos.	Não há variável relacionada nos modelos.
4	Transportes autônomos MP/PA	Não há variável relacionada nos modelos.	Não há variável relacionada nos modelos.
5	Auto otimização	Schumacher <i>et al.</i> (2019)	Os processos são providos de sistemas auto otimizáveis podendo gerar diagnóstico e simular e sugerir correções ou melhorias
6	Modelagem digital	<p>Schumacher <i>et al.</i> (2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Manufatura aditiva - Visualização digital do processo - Padrões tecnológicos 	Os processos possuem um gêmeo digital que permite a visualização do processo, em interfaces específicas por atividades de forma que o usuário obtenha informações úteis no formato que lhe convenha. Tal modelo permite ainda a automação da criação de valor por meio de sistemas interligados por interfaces digitais padronizadas.
		<p>Schuh <i>et al.</i> (2020)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Interfaces de usuário específicas por tarefa - Padronização das interfaces de dados 	
7	Coleta de dados fabris	<p>Schumacher <i>et al.</i> (2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dispositivos móveis no chão de fábrica - Coleta de dados por sensores - Coleta de dados automática - Fornecimento de informação automático - Pré-processamento de dados descentralizado 	A coleta automática de dados fabris é viabilizada pela presença de sensores e atuadores interligados a unidades inteligentes que realizam pré-processamento dos dados coletados para então disponibilizá-los para os sistemas.
		<p>Schuh <i>et al.</i> (2020)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Coleta de dados por sensores e atuadores - Pré-processamento de dados descentralizado 	

Quadro 8 - Meta Análise dos modelos estudados

(continua)

Azevedo e Santiago (2019)		Schumacher <i>et al.</i> (2019) e Schuh <i>et al.</i> (2020)	Análise
8	Uso de dados da manufatura	<p>Schumacher <i>et al.</i> (2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Processos de informação digital - Análise dos dados coletados - Individualização da informação coletada - Tomada de decisão com base em dados - Simulação de cenários futuros por software alimentado de dados <p>Schuh <i>et al.</i> (2020)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Análise de dados automática - Aprendizado e tomada de decisão baseados em dados 	Os dados individualmente coletados na manufatura são processados e disponibilizados para tomada de decisão, inclusive dispendo de cenários futuros simulados com base nas informações.
9	Soluções na nuvem	<p>Schumacher <i>et al.</i> (2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Armazenamento de informações descentralizado - Uso de tecnologia na nuvem 	A fábrica utiliza-se da nuvem para armazenamento e processamento de dados.
10	Segurança da TI	<p>Schumacher <i>et al.</i> (2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cybersegurança avançada - Proteção legal de produtos e serviços digitais - Conhecimento de cybersegurança de funcionários não ligados a TI <p>Schuh <i>et al.</i> (2020)</p> <p>Segurança de TI Atualizada Implementação de governança de dados</p>	A segurança da TI deve ser tecnologicamente avançada e de conhecimento de todos os funcionários ligados ao processo, incluindo aqueles que não são ligados a TI. Além disso, faz-se necessário a implementação de governança de dados.
ESTRATÉGIA DA ORGANIZAÇÃO			
1	Implementação da indústria 4.0	<p>Schumacher <i>et al.</i> (2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Roteiro para implementação da I4.0 - Coordenação central das atividades relacionadas a I4.0 <p>Schuh <i>et al.</i> (2020)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Foco no benefício do cliente - Gerenciamento ágil 	A implementação da indústria 4.0 é estratégico para a empresa e está alinhada para beneficiar o cliente. Pela sua importância, há gerenciamento específico para as suas atividades.
2	Medição da Indústria 4.0	<p>Schumacher <i>et al.</i> (2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Monitoramento da implementação da I4.0 - Comunicação das atividades relacionadas a I4.0 	A maturidade sob as métricas da indústria 4.0 é monitorada, sendo que sua implementação segue gerenciamento ágil com comunicação das atividades aos envolvidos.
3	Investimento em Indústria 4.0	<p>Schumacher <i>et al.</i> (2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Recursos financeiros para implementar a I4.0 	Os recursos financeiros para a implementação são conhecidos e estão provisionados.

Quadro 8 - Meta Análise dos modelos estudados

(continua)

Azevedo e Santiago (2019)		Schumacher <i>et al.</i> (2019) e Schuh <i>et al.</i> (2020)	Análise
4	Capacitação RH	<p>Schumacher <i>et al.</i> (2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Recrutamento para I4.0 - Treinamento dos funcionários para geração de competências digitais - Regras para os funcionários no ambiente digital - Ajustes de arranjos de postos de trabalho - Objetivos dos funcionários em implementar a I4.0 - Autonomia dos funcionários do chão de fábrica - Conhecimento de dados de funcionários não ligados a TI - Competências para TIC modernas. - Experiência com trabalhos interdisciplinares - Abertura para novas tecnologias - Disposição para arranjos de trabalhos flexíveis - Disposição para treinamento contínuo no trabalho - Experiência com trabalhos interdisciplinares <p>Schuh <i>et al.</i> (2020)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Providencia competências digitais - Comunidades flexíveis - Desenvolvimento profissional contínuo 	Há treinamentos em tecnologias digitais para funcionários, os quais, mesmo que não ligados à área de TI, possuem conhecimentos em tecnologias digitais e estão comprometidos para a implementação da indústria 4.0
5	Colaboração dos departamentos	Não há variável relacionada nos modelos.	Não há variável relacionada nos modelos.
6	Apoio Liderança	<p>Schumacher <i>et al.</i> (2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conhecimento das competências dos funcionários - Disposição da gerência para implementar I4.0 - Treinamento da gerência em I4.0 <p>Schuh <i>et al.</i> (2020)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reconhecer o valor do erro - Abertura para inovação - Mudança de forma - Estilo de liderança democrático - Comunicação aberta - Gerenciamento de direitos de decisão - Sistemas de metas motivacionais 	<p>A liderança deve dominar as competências dos funcionários em tecnologias digitais e estar devidamente treinada e focada na implementação da indústria 4.0, estabelecendo objetivos e metas.</p> <p>As tomadas de decisão devem estar embasadas em dados.</p> <p>A liderança deve ser engajada com a inovação e, portanto, aberta para mudanças nas formas de trabalho</p>

Quadro 8 - Meta Análise dos modelos estudados

(continua)

Azevedo e Santiago (2019)		Schumacher <i>et al.</i> (2019) e Schuh <i>et al.</i> (2020)	Análise
7	Análise Custo Benefício	Schumacher <i>et al.</i> (2019) - Auditoria de risco para I4.0	A empresa deve realizar análise de custo benefício da implementação das tecnologias afetas à indústria 4.0, bem como nas mudanças de cultura da empresa, para tanto, faz-se necessário performar auditorias de risco.
CADEIA DE SUPRIMENTOS			
1	Estoque em tempo real	Não há variável relacionada nos modelos.	Não há variável relacionada nos modelos.
2	SCM Integrada	Schumacher <i>et al.</i> (2019) - Abertura para novas tecnologias dos clientes e parceiros - Competência em TIC dos clientes e parceiros - Grau de digitalização de parceiras - Digitalização dos contatos c/ parceiras - Digitalização dos contatos com clientes Schuh <i>et al.</i> (2020) - Cooperação dentro da rede	A integração do gerenciamento da cadeia de valor faz com que haja intercâmbio de tecnologias, portanto, a empresa deve estar aberta para inovações de fornecedores e clientes, que devem possuir competências em TIC bem como possuir digitalizadas as interfaces com outros parceiros, promovendo ambiente de cooperação na rede.
3	SCM visibilidade	Não há variável relacionada nos modelos.	Não há variável relacionada nos modelos.
4	SCM agilidade		
5	Lead times		
MODELOS DE NEGÓCIOS			
1	Orientação a serviço	Não há variável relacionada nos modelos.	Não há variável relacionada nos modelos.
2	Decisão com base em dados	Schuh <i>et al.</i> (2020) - Aprendizado e tomada de decisão baseados em dados - Confiança nos processos e sistemas de informação	As decisões são tomadas com base em dados e para tanto os sistemas devem fornecê-los de forma precisa.
3	PLM (Gestão do ciclo de vida do produto)	Não há variável relacionada nos modelos.	Não há variável relacionada nos modelos.
4	Manutenção Preditiva	Schumacher <i>et al.</i> (2019) - Manutenção das máquinas com base em dados	
5	Canal Mkt	Não há variável relacionada nos modelos.	Não há variável relacionada nos modelos.
6	Apoio TI ao negócio	Schumacher <i>et al.</i> (2019) - Colaboração em TI p/ desenvolvimento de produto	Em função da digitalização do negócio como um todo, faz-se necessária a participação da área de TI no desenvolvimento de produtos e processos.
		Schumacher <i>et al.</i> (2019) - Integração do cliente no desenvolvimento do produto	

Quadro 8 - Meta Análise dos modelos estudados

(conclusão)

Azevedo e Santiago (2019)		Schumacher <i>et al.</i> (2019) e Schuh <i>et al.</i> (2020)	Análise
INTEROPERABILIDADE			
1	Padrão de contrato	Não há variável relacionada nos modelos.	Não há variável relacionada nos modelos.
2	Abastecimento linha de produção	Não há variável relacionada nos modelos.	Não há variável relacionada nos modelos.
3	Proteção de dados	Schuh <i>et al.</i> (2020) Implementação de governança de dados	Esta característica se confunde com aquelas vistas em manufatura e logística, pois a interoperabilidade está nas relações horizontais e verticais da empresa. A proteção de dados entre atores deve estar sob normas de governança.
4	Sistemas	Schumacher <i>et al.</i> (2019) - Tecnologias padronizadas	Os sistemas, para garantir que haja integração, devem estar padronizados entre os atores.
5	Compartilhamento SCM	Schuh <i>et al.</i> (2020) - Integração vertical e horizontal dos sistemas de informação	O compartilhamento da gestão da cadeia de valores deve ocorrer por meio de integração nos sentidos vertical e horizontal.

Fonte: o próprio autor com base em Azevedo e Santiago (2019), Schumacher *et. al* (2019) e Schuh *et al.* (2020) e Alencar *et al.* (2022, no prelo)

Ainda do quadro 8, é possível chegar às seguintes conclusões:

- a) as variáveis medidas pelo modelo de Azevedo e Santiago (2019) na versão atualizada estão presentes direta ou indiretamente nos modelos elaborados por Schumacher *et al.* (2019) e Schuh *et al.* (2020), assim, mesmo aquelas cuja relação não seja explicitamente diretas, é possível obter um diagnóstico de forma que todas as características consideradas como importantes pelos referidos autores sejam abordadas por meio do questionário a partir do qual será analisado o grau de maturidade no estudo de caso;
- b) embora seja unânime entre os autores de que uma das características a indústria 4.0 é ter a cadeia de valor integrada de forma que os sistemas dos atores envolvidos em todo o processo tenham visibilidade em tempo real de todas as etapas logísticas, que no caso do modelo de Azevedo e Santiago (2019) é avaliada em um construto específico denominado “interoperabilidade”, as variáveis relacionadas a esta importantíssima dimensão não são medidas nos modelos estudados; e

- c) a variável proposta por Schumacher *et al.* (2019) “Integração do cliente no desenvolvimento do produto” não se relaciona a nenhuma outra do modelo de Azevedo e Santiago (2019) e Schuh *et al.* (2020). Considerando que esta foi a única variável desconsiderada no total de 65 propostas pelos autores, optou-se por não a considerar na aplicação deste trabalho.

4.3. APLICAÇÃO DO MODELO

4.3.1. Método de Equações Estruturais

A coleta de dados ocorreu por meio de pesquisa tipo Survey, que, de acordo com Fonseca (2002) equivale a obtenção de dados sobre características por meio de um instrumento, que normalmente é um questionário. Foi então elaborado questionário *survey* tendo como estrutura as variáveis definidas por Azevedo e Santiago (2019), mas observando a relação destas com as definidas pelos modelos de Schumacher *et al.* (2019) e Schuh *et al.* (2020) conforme obtido na meta análise.

Foi elaborada uma pergunta para cada variável, havendo quatro níveis (1 a 4) em escala *likert*, deixando expressas as respostas da escala “1”, que indica a pior condição, e da “4”, que estabelece o maior nível em termos das métricas de indústria 4.0.

O questionário aplicado encontra-se no Apêndice A.

Alinhado ao objetivo principal deste trabalho, a empresa escolhida para a realização da pesquisa é beneficiária da Lei de Informática da Zona Franca de Manaus. Segundo SUFRAMA (2022), em 2020, eram 48 as empresas fabricantes de bens de informática beneficiárias da Lei nº 8.387/1991 que auferiram R\$ 28,05 bilhões.

Assim, diante da indisponibilidade de dados que pudessem refinar a escolha da empresa para o estudo de caso, foi utilizada a média de faturamento anual, que em 2020, foi R\$ 584,38 milhões. As informações publicadas pela Autarquia referem-se aos totais, tornando impossível a extração de *outliers*, mas tais números serviram de base para a escolha da empresa para a qual foi submetido o questionário, que foi empresa beneficiária da Lei de Informática, com faturamento anual em torno de R\$ 500 milhões anuais.

Conforme visto nos modelos de maturidade em indústria 4.0, estes são abrangentes envolvendo várias áreas da empresa, demandando visão em nível tático-

estratégico, inclusive tendo como pré-requisito o envolvimento da liderança da empresa nos projetos afetos à sua implementação (SCHUH *et al.*, 2020). Assim, foi considerado como sujeitos para a submissão do questionário os funcionários ocupantes de cargos de chefia setorial, engenheiros e funcionários chave da área de logística.

No caso da empresa escolhida, a quantidade de profissionais elencados totaliza 31.

Dado que o número pequeno de indivíduos, para o presente trabalho considerou-se a submissão do questionário para totalidade. Tal condição é favorável haja vista que, como não há dados científicos a respeito das respostas, não é possível calcular a variância da população a fim de se obter o tamanho da amostra a ser aplicada ao caso.

A utilização de software específico também não se mostra eficiente pelo fato de os softwares avaliados não considerarem o tamanho da população como finita.

Os questionários foram submetidos aos respondentes por meio de e-mail em 24/1/2022, tendo registrado 27 deles respondidos até 10/3/2022. Tal número equivale a amostra de 87,1% da população.

É importante observar que foram obtidas respostas de representantes de todas as áreas consideradas importantes, quais sejam: engenharias de produto e de processos, logística, manufatura, recursos humanos, controle de qualidade e administração central.

A confirmação da adequação do tamanho da amostra foi verificada após a obtenção das respostas. Segundo Miot (2011), esse parâmetro é obtido, considerando que as variáveis da pesquisa são quantitativas e que a população é finita, por meio da seguinte fórmula:

$$n = \frac{N \cdot \delta^2 \cdot (Z_{\alpha/2})^2}{(N - 1) \cdot E^2 + \delta^2 \cdot (Z_{\alpha/2})^2}$$

Onde:

n = tamanho da amostra;

$Z_{\alpha/2}$ = valor crítico para o grau de confiança;

E = erro padrão;

δ = desvio padrão; e

N = tamanho da população (finita).

Para o caso em estudo foi utilizado $Z_{\alpha/2} = 1,96$ (grau de confiança de 95%) e o erro padrão foi estimado em 5% da amplitude, ou seja, $E = 0,2$. O desvio padrão foi

obtido a partir das respostas ao questionário e, por convenção, foi utilizada a média dos desvios padrão de cada variável medida (Apêndice B).

A partir desses parâmetros obtém-se como tamanho da amostra a quantidade 22,81, ou seja, 23 respondentes. Havendo obtido 27 respostas ao questionário, conclui-se que a amostra coletada é estatisticamente válida para explicar a população no estudo realizado.

A Figura 10 apresentou de forma simples a relação entre as variáveis observáveis e as dimensões que compõem o modelo de Azevedo e Santiago (2019) e no Apêndice B, encontra-se o questionário para que fosse obtido o nível e maturidade.

Das respostas obtidas, foram identificados 6 *outliers*, que foram definidos pelos pontos que se encontram a distância superior a 1,5 vezes a distância interquartil acima do terceiro quartil ou abaixo do primeiro quartil dos dados de cada variável respondida.

A questão a ser tratada é se as variáveis observáveis (obtidas no questionário) podem convergir às dimensões propostas pelos referidos autores, que são fatores subjacentes não observados e que conforme Figueiredo e Silva (2010), trata-se da função das técnicas abrangidas pela Análise Fatorial que podem ser separadas em duas modalidades: a exploratória e a confirmatória.

Quando utilizada na verificação da validade de construto, que neste trabalho pode também ser denominado variável latente ou dimensão, no qual convergem variáveis observáveis, a análise fatorial é considerada confirmatória (LAROS, 2010), sendo esta a técnica aqui adotada.

De acordo com Neves (2018), a modelagem de equações estruturais trata estatisticamente análises confirmatórias com finalidade de obtenção de aprovação de um modelo por meio da observação de covariâncias de variáveis independentes sobre uma variável dependente.

Neste trabalho para a realização da modelagem de equações estruturais foi utilizado o software SmartPLS 3, que é obtido gratuitamente e constitui-se como ferramenta para uma ampla gama de pesquisadores em função do seu acesso e fórum, tutoriais e bancos de dados que facilitam o seu uso (RINGLE *et al.*, 2014).

O modelo apresentado por Azevedo e Santiago (2019) traz a relação das variáveis observáveis, cujos valores são obtidos pela percepção dos respondentes do questionário. Verifica-se, porém, que os próprios autores sinalizam que as dimensões

para as quais as variáveis convergem possuem relação de dependência umas às outras.

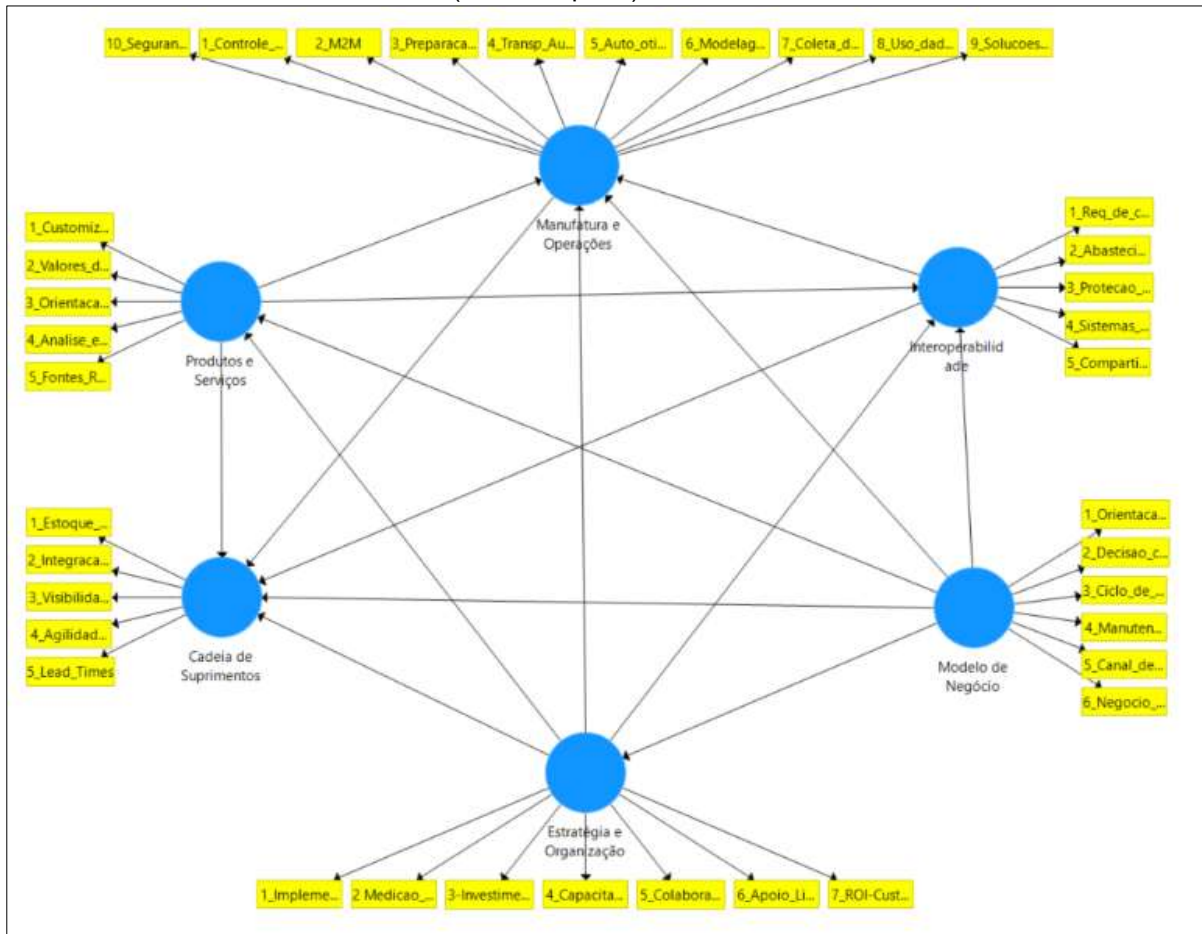
Para que a indústria 4.0 seja materializada, informações de várias fontes, sejam de processos ou de negócios, devem ser obtidas e analisadas em tempo real (BURNS *et al.*, 2019). Por outro lado, modelo de negócio pode ser conceituado como sendo a lógica de entregar valor para uma entidade, interagindo com a inovação no sentido em que agrega tecnologia para os seus processos internos ou produtos (BONAZZI E ZILBER, 2014). Esses dois exemplos ilustram a necessidade de interligação entre os construtos do modelo apresentado, assim, neste estudo, inicia-se por interligar todas as variáveis entre si, de forma a gerar relações diretas ou indiretas entre todas elas (Figura 11).

Para a realização dos cálculos, foram utilizados os seguintes parâmetros no SmartPLS 3:

- a) *Weighting Scheme: Factor; e*
- b) Valores faltantes: os *outliers* removidos da planilha de respostas (Apêndice B) que foram repostos pela média (*Mean Replacement*).

De acordo com Ringle *et al.* (2014), o SmartPLS 3 realiza análise fatorial confirmatória sob o parâmetro *weighting scheme* em “fator”, sendo esta a razão pela escolha do mesmo. A aplicação média no lugar dos valores faltantes foi utilizada porque esse valor não afeta o resultado da pesquisa, haja vista que a ausência de valor é decorrente da retirada de *outliers*, ou seja, se aplicar valor diverso da média, como por exemplo zero ou “99”, os mesmos constituiriam *outliers* que interfeririam ainda mais no resultado.

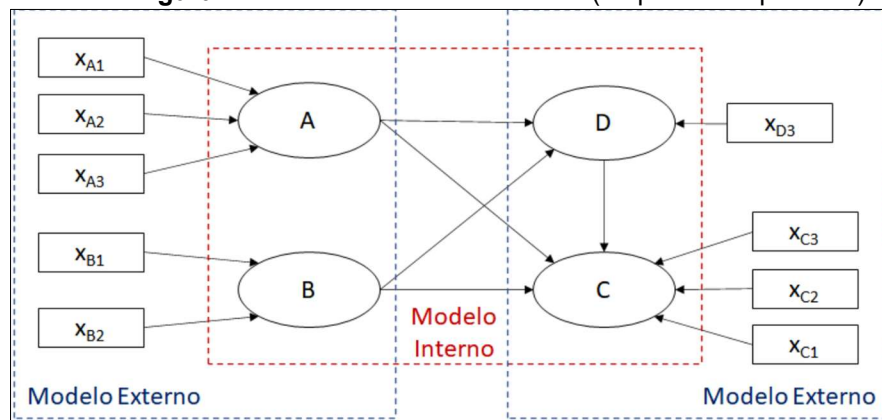
Figura 11 - Desenho do modelo de Azevedo e Santiago (2019) versão atualizada por Alencar et al. (2022, no prelo) no SmartPLS 3



Fonte: O próprio autor com base em Azevedo e Santiago (2019)

Henseler *et al.* (2019) define que a verificação do modelo se dá em dois passos: (i) pela avaliação do chamado modelo externo, que trata da validação da formação do construto e a confiabilidade e validade dos construtos reflexivos e (ii) validação do modelo interno, que trata da relação entre os construtos, conforme ilustrado de forma exemplificativa simplificada na figura 12.

Figura 12 - Modelos externo e interno (esquema simplificado)



Fonte: adaptado de Henseler *et al.* (2019)

Como resultado das interações simuladas pelo software do modelo desenhado, foram obtidos os seguintes dados, intitulados pelo software de indicadores de qualidade (tabela 3):

Tabela 3 - Indicadores extraídos do SmartPLS 3 a partir do modelo estudado

Dimensão	Alpha de Cronbach	Rho_A	Confiabilidade composta	AVE
Cadeia de Suprimentos	0,687	0,733	0,798	0,447
Estratégia e Organização	0,799	0,807	0,855	0,465
Interoperabilidade	0,772	0,801	0,844	0,527
Manufatura e Operações	0,716	0,732	0,781	0,285
Modelo de Negócio	0,703	0,746	0,801	0,410
Produtos e Serviços	0,746	0,702	0,831	0,505

Fonte: O próprio autor utilizando o SmartPLS 3.

O primeiro indicador a ser avaliado é o AVE, que exprime as validades convergentes a partir das variâncias médias extraídas, que segundo Henseler *et al.* (2019), tendo pelo menos o valor 0,5, expressa que há validação de convergência suficiente (RINGLE *et al.*,2014), ou seja, a variável latente pode explicar mais da metade da variância das variáveis observadas.

No modelo em estudo, somente a interoperabilidade atingiu o valor mínimo estabelecido pela literatura. Nesse caso, Ringle *et al.* (2014) recomenda que sejam observadas as variáveis com as menores cargas fatoriais, de forma que as eliminando, atinja-se coeficientes $AVE \geq 0,5$.

Foram eliminadas as seguintes variáveis (marcadas em preto na tabela 4) após seis iterações de avaliação dos valores dos AVE relativos à cada dimensão do modelo:

Tabela 4 - Variáveis eliminadas do modelo pelo MEE

Dimensão	Variável Observável	Carga fatorial	Dimensão	Variável Observável	Carga Fatorial
1 Produtos e Serviços	1 Customização (R3)		4 Cadeia de Suprimentos	1 Estoque Tempo Real	0,648
	2 Valores digitais	0,726		2 Integração SCM	0,820
	3 Orientação a serviço	0,908		3 Visibilidade SCM	0,763
	4 Análise e tratamento de dados	0,806		4 Agilidade SCM	0,603
	5 Fontes Receitas	0,864		5 Lead Times (R2)	
2 Manufatura e Operações	1 Controle automação (R3)		5 Modelo de Negócio	1 Orientação a Serviço (R3)	
	2 M2M	0,711		2 Decisão com base em dados (R2)	
	3 Preparação Ind 4.0 (R5)			3 Ciclo de Vida PLM	0,766

Tabela 4 - Variáveis eliminadas do modelo pelo MEE.

			(conclusão)		
Dimensão	Variável Observável	Carga fatorial	Dimensão	Variável Observável	Carga Fatorial
2 Manufatura e Operações	4 Transp Autônomos MP/PA (R2)		6 Interoperabilidade	4 Manutenção Preditiva	0,662
	5 Auto otimização			5 Canal de MKT	0,642
	6 Modelagem digital (R4)			6 Negócio apoio TI	0,844
	7 Coleta de dados fabris	0,807		1 Req de contratação para Ind40	0,669
	8 Uso dados Manufatura	0,658		2 Abastecimento LP	0,739
	9 Soluções em Nuvem	0,816		3 Proteção de dados	0,843
	10 Segurança de TI	0,881		4 Sistemas ERP, EDI, WMS, VMI	0,538
				5 Compartilhamento SCM	0,810
3 Estratégia e Organização	1 Implementação Ind40	0,808			
	2 Medição da Indústria 4.0	0,835			
	3 Investimentos Ind40 (R2)				
	4 Capacitação RH	0,585			
	5 Colaboração Deptos (R4)				
	6 Apoio Liderança Ind4	0,766			
	7 ROI-Custo Benefício	0,727			

Fonte: o próprio autor utilizando o SmartPLS3

O resultado obtido excluindo as variáveis elencadas na tabela 4, resultaram nos seguintes indicadores de qualidade (tabela 5):

Tabela 5 - Indicadores de qualidade após ajustes recomendados por Ringle et al. (2014)

Dimensão	Alpha de Cronbach	Rho_A	Confiabilidade composta (ρ_c)	AVE
Cadeia de Suprimentos	0,688	0,719	0,804	0,510
Estratégia e Organização	0,802	0,789	0,863	0,561
Interoperabilidade	0,772	0,791	0,846	0,630
Manufatura e Operações	0,842	0,959	0,884	0,606
Modelo de Negócio	0,710	0,728	0,821	0,538
Produtos e Serviços	0,853	0,981	0,897	0,687

Fonte: o próprio autor utilizando o SmartPLS 3.

Segundo Matthiensen (2011), a análise segue com a verificação dos valores de α de Cronbach, que indica a consistência interna dos questionários e deve ter como limite inferior o valor de 0,7, podendo-se diminuir para 0,6 em pesquisas exploratórias. Ocorre que, de acordo com estudo mais recente realizado por Hensler *et al.* (2019), essa medida tende a fornecer uma severa subestimativa da consistência interna de variáveis latentes em modelos de regressão parcial dos mínimos quadrados (PLS),

sendo mais apropriado utilizar o coeficiente de confiabilidade composta (ρ_c), que deve estar acima de 0,7 para demonstrar que não há vieses na variável latente. Observa-se que na tabela 5, todas dimensões possuem esse indicador pontuado acima de 0,8.

Seguindo a sistemática de Ringle *et al.* (2014), passa-se a analisar a validade discriminante, ou VD, que verifica se há independência entre as dimensões, sendo realizada de duas maneiras:

- (i) Verificação se as cargas fatoriais da variável observável são maiores na dimensão a qual foi ligada quando comparada a outras dimensões (tabela 6): o SmartPLS retira cada variável observável do respectivo construto e transfere para outro construto recalculando as cargas fatoriais.

Tabela 6 - Valores das cargas fatoriais das variáveis observáveis em todos os construtos (avaliação das cargas cruzadas).

Variáveis	Cadeia de Suprimentos	Estratégia e Organização	Interoperabilidade	Manufatura e Operações	Modelo de Negócio	Produtos e Serviços
1 Customização (R3)						
2 Valores digitais	0,224	0,181	0,142	0,14	0,196	0,726
3 Orientação a serviço	0,336	0,525	0,032	0,023	-0,036	0,908
4 Análise e tratamento de dados	0,146	0,287	0,059	0,22	0,027	0,806
5 Fontes Receitas	0,088	0,233	-0,086	0,016	-0,155	0,864
1 Controle automação (R3)						
2 M2M	0,058	-0,002	0,213	0,711	0,357	0,027
3 Preparação Ind 4.0 (R5)						
4 Transp Autônomos MP/PA (R2)						
5 Auto otimização						
6 Modelagem digital (R4)						
7 Coleta de dados fabris	0,289	-0,019	0,285	0,807	0,444	0,193
8 Uso dados Manufatura	0,089	0,051	0,126	0,658	0,402	0,196
9 Soluções em Nuvem	0,025	0,078	0,292	0,816	0,43	0,076
10 Segurança de TI	0,475	0,26	0,625	0,881	0,62	0,013
1 Implementação Ind40						
2 Medição da Indústria 4.0	0,252	0,808	0,025	0,081	0,1	0,388
3 Investimentos Ind40 (R2)						
4 Capacitação RH	0,314	0,835	0,112	0,056	0,152	0,461
4 Capacitação RH						
4 Capacitação RH	0,475	0,585	0,43	0,436	0,31	0,216
5 Colaboração Deptos (R4)						
6 Apoio Liderança Ind4.0	0,455	0,766	0,328	0,055	0,371	0,095
7 ROI-Custo Benefício	0,441	0,727	0,233	-0,209	0,314	0,434

Tabela 6 - Valores das cargas fatoriais das variáveis observáveis em todos os construtos (avaliação das cargas cruzadas).

(conclusão)

Variáveis	Cadeia de Suprimentos	Estratégia e Organização	Interoperabilidade	Manufatura e Operações	Modelo de Negócio	Produtos e Serviços
1 Estoque Tempo Real	0,648	0,183	0,505	0,34	0,508	-0,02
2 Integração SCM	0,82	0,533	0,588	0,076	0,462	0,171
3 Visibilidade SCM	0,763	0,485	0,67	0,383	0,63	0,294
4 Agilidade SCM	0,603	0,319	0,295	-0,021	0,236	0,356
5 Lead Times (R2)						
1 Orientação a Serviço (R3)						
2 Decisão com base em dados (R2)						
3 Ciclo de Vida PLM	0,561	0,412	0,672	0,362	0,766	0,294
4 Manutenção Preditiva	0,279	0,027	0,421	0,451	0,662	-0,282
5 Canal de MKT	0,568	0,387	0,542	0,402	0,642	-0,053
6 Negócio apoio TI	0,518	0,178	0,745	0,567	0,844	-0,038
1 Req de contratação para Ind40	0,697	0,673	0,669	0,177	0,514	0,123
2 Abastecimento LP	0,487	0,01	0,739	0,608	0,666	-0,129
3 Proteção de dados	0,535	0,312	0,843	0,256	0,779	0,085
4 Sistemas ERP, EDI, WMS, VMI	0,35	-0,072	0,538	0,286	0,462	-0,171
5 Compartilhamento SCM	0,628	0,201	0,81	0,37	0,585	0,194

Fonte: o próprio autor utilizando o SmartPLS 3.

Tendo em vista que a carga fatorial calculada em “Interoperabilidade - 1 Req de contratação para Ind40” ficou superior para outro construto do que para aquele ao qual estava ligado, esta variável também foi excluída.

- (ii) Comparação das raízes quadradas dos AVE de cada construto com as correlações entre os eles, sendo que as raízes quadradas dos AVE devem ser sempre maiores do que as correlações (vide tabela 7) para a determinação da validade discriminante, implicando que o construto é único e não capta características compreendidas pelos demais (NASCIMENTO e MACEDO, 2016):

Tabela 7 - Correlações entre construtos e raízes quadradas de AVE

(continua)

Dimensão	AVE	Cadeia de Suprimentos	Estratégia e Organização	Interoperabilidade	Manufatura e Operações	Modelo de Negócio	Produtos e Serviços
Cadeia de Suprimentos	0,510	0,714					
Estratégia e Organização	0,563	0,547	0,750				
Interoperabilidade	0,597	0,657	0,161	0,773			
Manufatura e Operações	0,608	0,304	0,122	0,494	0,780		

Tabela 7 - Correlações entre construtos e raízes quadradas de AVE

Dimensão	AVE	Cadeia de Suprimentos	Estratégia e Organização	Interoperabilidade	Manufatura e Operações	(conclusão)	
						Modelo de Negócio	Produtos e Serviços
Modelo de Negócio	0,539	0,674	0,354	0,819	0,604	0,734	
Produtos e Serviços	0,687	0,274	0,427	0,009	0,110	0,005	0,829

Fonte: o próprio autor com base em Ringle *et al.* (2014)

Os valores dispostos nas diagonais são as raízes quadradas dos AVE (marcadas em verde).

Observa-se que a correlação entre Modelo de Negócio e Interoperabilidade é mais alto do que os valores das raízes quadradas dos respectivos AVE. Nesse caso, Ringle *et al.* (2014) definem que variáveis com os maiores valores de correlação nos dois construtos simultaneamente devem ser retiradas, re-testando o modelo a cada variável.

Com a retirada Interoperabilidade – Proteção de dados são obtidos os seguintes indicadores (tabela 8):

Tabela 8 - Correlações entre construtos e raízes quadradas de AVE após ajuste

Dimensão	AVE	Cadeia de Suprimentos	Estratégia e Organização	Interoperabilidade	Manufatura e Operações	Modelo de Negócio	Produtos e Serviços
Cadeia de Suprimentos	0,512	0,716					
Estratégia e Organização	0,565	0,540	0,752				
Interoperabilidade	0,616	0,635	0,058	0,785			
Manufatura e Operações	0,608	0,300	0,119	0,556	0,780		
Modelo de Negócio	0,539	0,671	0,347	0,742	0,605	0,734	
Produtos e Serviços	0,687	0,272	0,430	-0,036	0,107	-0,006	0,829

Fonte: o próprio autor com base em Ringle *et al.* (2014)

Verifica-se que a correlação entre Modelo de Negócio e Interoperabilidade ainda é mais alta do que os valores das raízes quadradas dos respectivos AVE em 1,07%, no entanto, Ringle *et al.* (2014) considera que valores abaixo de 2,5% são admissíveis, podendo-se, neste caso, manter o modelo como está.

Ocorre que as retiradas de variáveis observáveis do modelo de equações estruturais resultam em alteração também dos outros coeficientes de qualidade. Assim, confirma-se na tabela 9 que o coeficiente de confiabilidade composta (ρ_c) mantém-se acima de 0,7, demonstrando que não há vieses na variável latente.

Tabela 9 - Indicadores de qualidade após ajustes recomendados por Ringle et al. (2014)

Dimensão	Alpha de Cronbach	Rho_A	Confiabilidade composta (ρ_c)	AVE
Cadeia de Suprimentos	0,688	0,71	0,806	0,512
Estratégia e Organização	0,802	0,792	0,865	0,565
Interoperabilidade	0,694	0,718	0,828	0,616
Manufatura e Operações	0,842	0,936	0,885	0,608
Modelo de Negócio	0,71	0,732	0,822	0,539
Produtos e Serviços	0,853	0,992	0,897	0,687

Fonte: o próprio autor utilizando o SmartPLS 3.

A tabela 10 mostra os valores de R^2 para cada construto. A interpretação dada por Nascimento e Macedo (2016) é, a partir do modelo mostrado na Figura 11 e tabela 10, que, por exemplo, 70,4% de “cadeia de suprimentos” podem ser explicados por (i) Estratégia e Organização; (ii) Modelo de Negócio (iii) Interoperabilidade; (iv) Manufatura e Operações; e (v) Produtos e Serviços. Ou seja, segundo os mesmos autores, esse indicador demonstra o grau de explicação da variável latente a partir das outras variáveis latentes a ela conectadas.

Tabela 10 - R^2 calculado para cada construto do modelo.

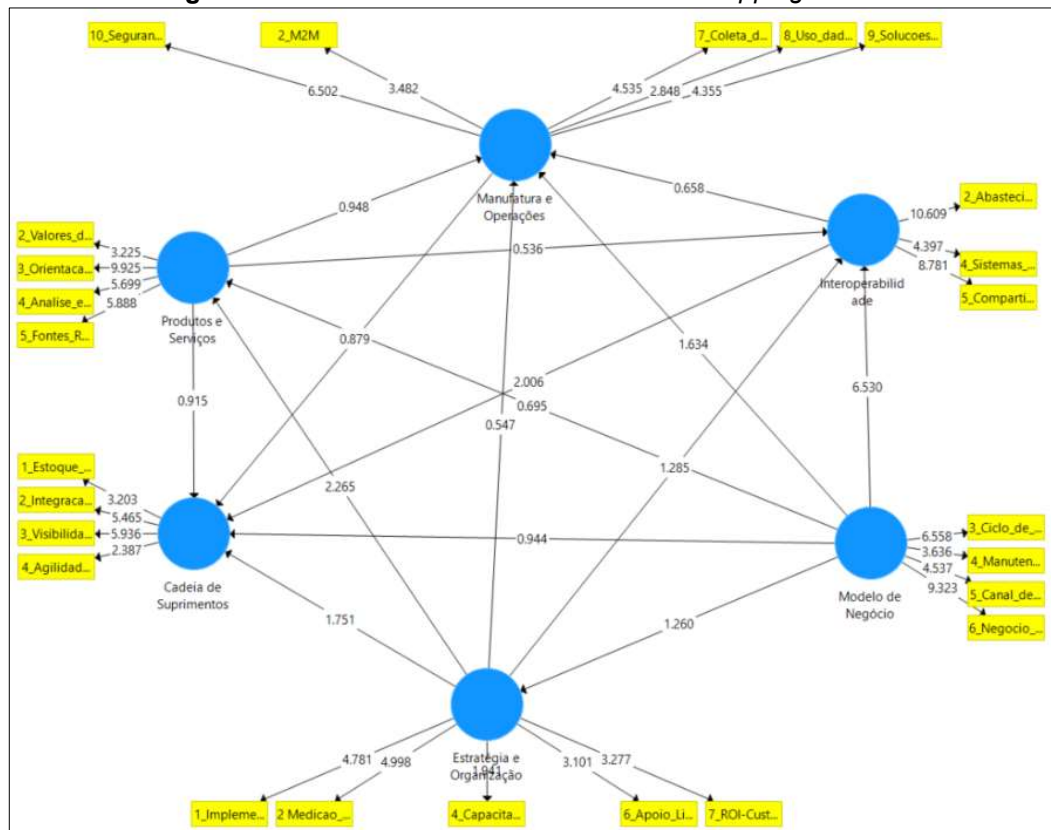
Cadeia de Suprimentos	Estratégia e Organização	Interoperabilidade	Manufatura e Operações	Modelo de Negócio	Produtos e Serviços
0,704	0,121	0,601	0,420	-	0,212

Fonte: o próprio autor utilizando o SmartPLS 3.

Na sequência, o módulo de *bootstrapping* permite obter os valores dos testes t de Student das ligações entre as variáveis latentes (dimensões), ou modelo interno, e destas com as variáveis observáveis (modelo externo), sobre os quais são desejados valores de pelo menos 1,96, ou seja, nível de significância de 5% (NASCIMENTO e MACEDO, 2016).

Da figura 13, extrai-se que as ligações do modelo externo, à exceção da variável “4_Capacitação RH” ligada à “Estratégia e Organização” em sua totalidade possui valores significativos de ligação entre as variáveis observáveis e os construtos.

Figura 13 - Resultados dos cálculos em *bootstrapping* do SmartPLS 3.



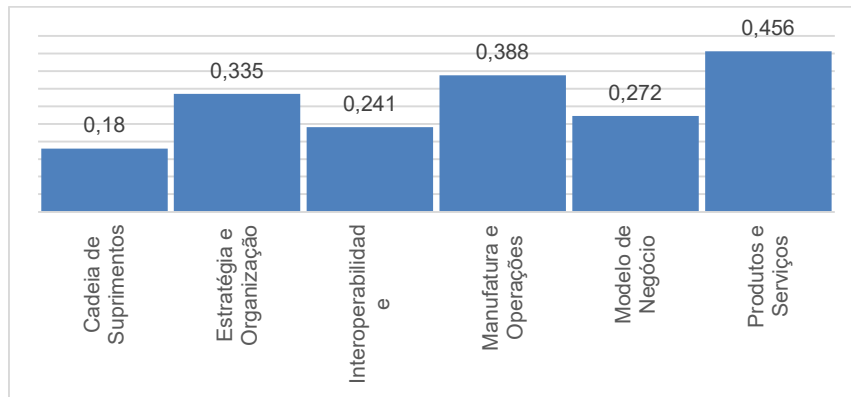
Fonte: o próprio autor utilizando o SmartPLS 3.

Por outro lado, as ligações do modelo interno, somente demonstram-se significativas aquelas localizadas entre (i) “estratégia e organização” e “produtos; serviços”; (ii) “interoperabilidade” e “cadeia de suprimentos”; e (iii) “modelo de negócio” e “interoperabilidade” com valores t equivalentes a 2,265, 2,006 e 6,530 respectivamente.

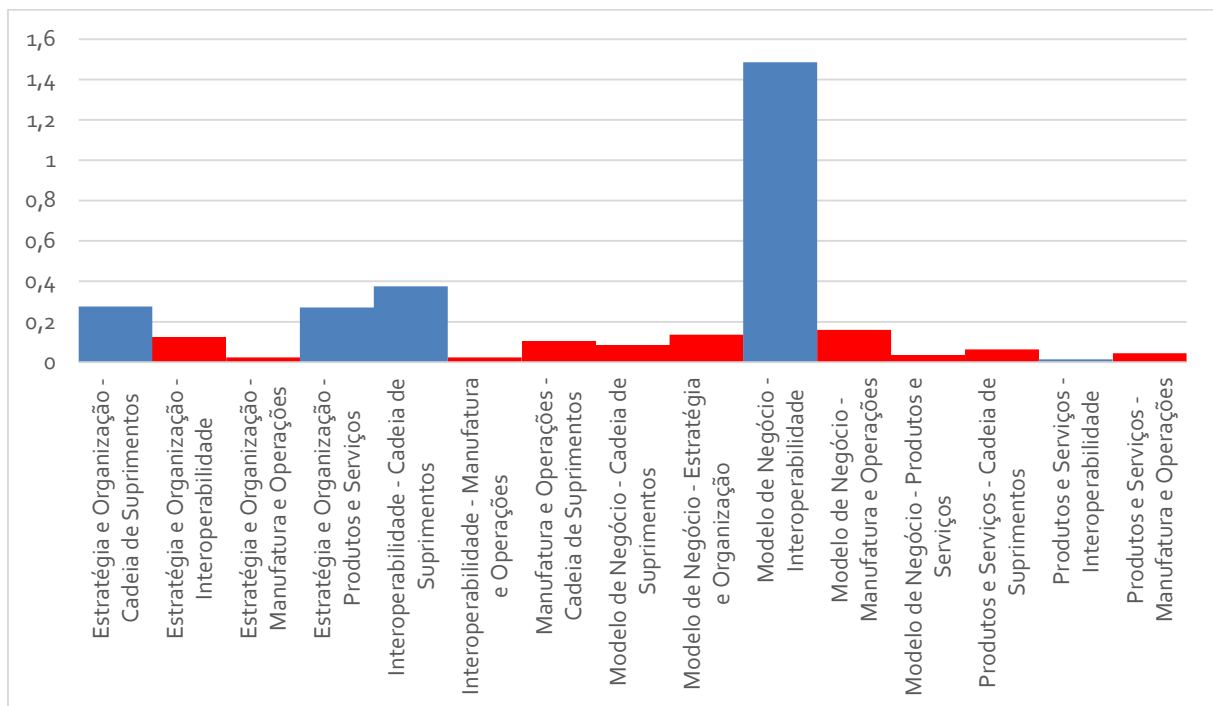
Tal resultado pode ser explicado pela baixa significância das ligações entre as variáveis latentes, que na prática revela que a empresa estudada não possui transversalidade entre as características estudadas, ou seja, estas são, no atual formato da empresa, tratadas de forma isolada.

Por fim, segundo Ringle *et al.* (2014) e Nascimento e Macedo (2016), avaliam-se os valores de Q^2 (relevância ou validade preditiva), que indica a acurácia do modelo ajustado e de f^2 (tamanho de efeito ou indicador de Cohen), que determina se as ligações entre variáveis são significativas. Esses autores esclarecem que, de acordo com a literatura, o Q^2 deve ser maior que zero e f^2 com valores de 0,02, 0,15 e 0,35 são julgados como pequenos, médios e grandes, respectivamente.

Tais indicadores estão expressos nas figuras 14 e 15.

Figura 14 - Validade Preditiva (Q2)

Fonte: o próprio autor utilizando o SmartPLS 3.

Figura 15 - Indicadores de Cohen (f2)

Fonte: o próprio autor utilizando o SmartPLS 3.

Os resultados acima de zero de Q^2 revelam que o modelo atende ao seu propósito e os diversos valores de f^2 abaixo de 0,15, identificam característica análoga a observada na análise dos valores t de Student das ligações entre construtos, ou seja, as dimensões analisadas, na forma atual da empresa analisada, estão isoladas.

Da aplicação do estudo estatístico utilizando Métodos de Equações Estruturais por meio do SmartPLS 3 apresentado acima, em suma, obtém-se os seguintes resultados:

a) Variáveis observáveis que foram excluídas do modelo por não ficar demonstrada a convergência na ligação às respectivas variáveis latentes (dimensão) aplicadas ao modelo, ou seja, aquelas que contribuíam para baixar o AVE:

- (i) Produtos e Serviços
 - a. Customização;
- (ii) Manufatura e Operações

Controle e automação;

- a. Preparação para indústria 4.0;
- b. Transportes Autônomos para matéria prima e produto acabado;

- c. Auto otimização; e
- d. Modelagem digital

(iii) Estratégia e Organização

- a. Investimento para implementação da indústria 4.0; e
- b. Colaboração dos departamentos

(iv) Cadeia de Suprimentos

- a. Lead times

(v) Modelo de Negócio

- a. Orientação a serviço; e
- b. Decisão com base em dados.

b) Validade Discriminante: Variável observável cuja carga fatorial, quando simulada ligação à outra variável latente (dimensão) apresentou valor superior do que quando ligada àquela originalmente atribuída ou se o valor da correlação entre as variáveis latentes é maior do que a raiz quadrada dos AVE de cada variável latente relacionada:

- (i) Interoperabilidade
 - a. Requisito de contratação para indústria 4.0; e
 - b. Proteção de dados.

c) *Bootstrapping*: valor t abaixo de 1,96 indicando que há baixa significância da variável observável na variável latente.

- (i) Estratégia e Organização
 - a. Capacitação de recursos humanos.

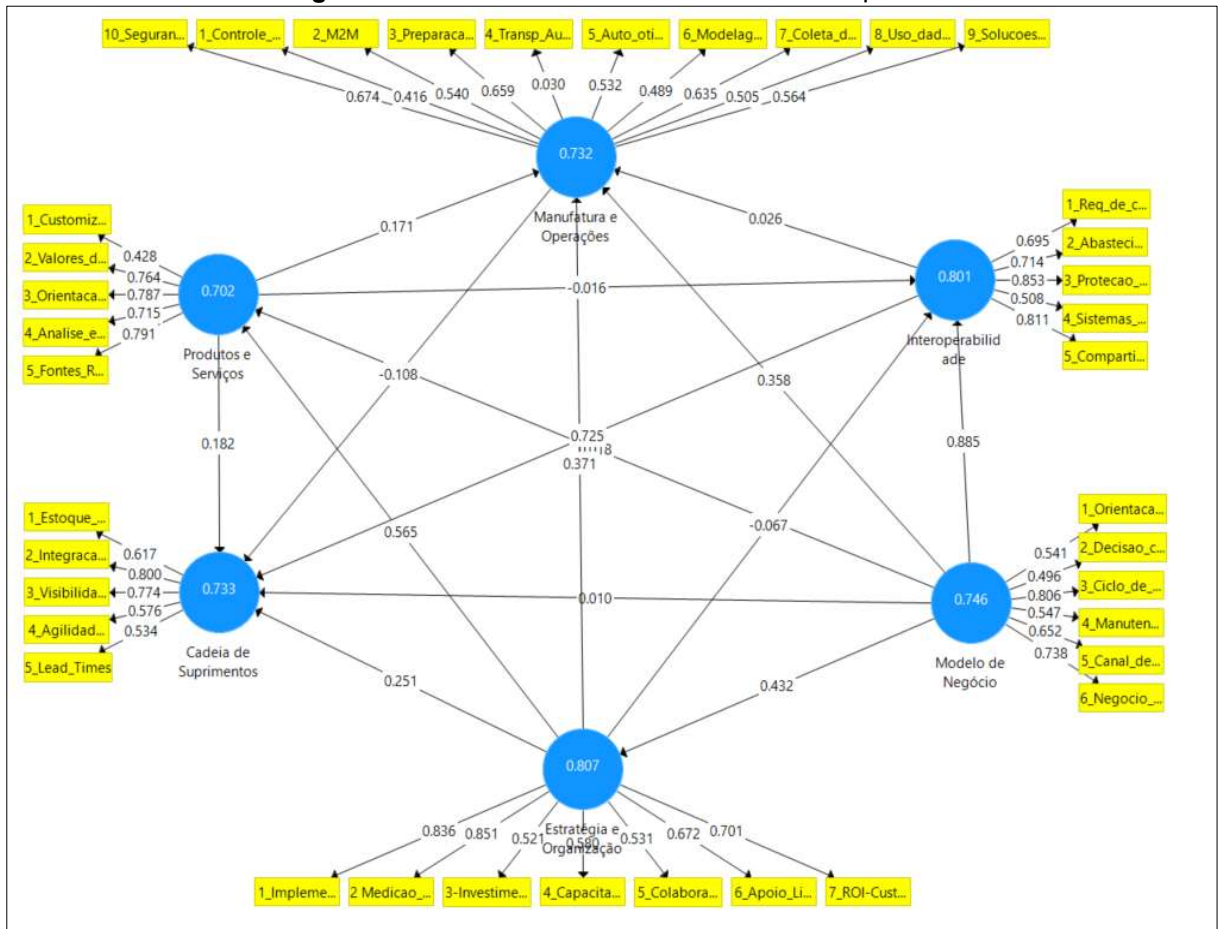
(ii) Relações entre variáveis latentes: os valores t entre a maioria dessas variáveis indica que há baixa relação entre elas, demonstrando que cada característica avaliada é independente na empresa avaliada.

4.3.2. PIMM4.0 (Azevedo e Santiago (2019) versão atualizada por Alencar et al. (2022, no prelo))

O modelo de Azevedo e Santiago (2019) com cálculos em Santiago (2019) faz uso dos métodos de equações estruturais (MEE) para a determinação do nível de maturidade em indústria 4.0, tendo como referência as cargas fatoriais de cada variável observável sobre a variável latente a ela ligada.

A medição do nível de maturidade se dá por meio do modelo completo (sem a exclusão das variáveis ocorrida pela execução do MEE. A figura 16 apresenta o resultado apurado pelo SmartPLS 3 no modelo completo.

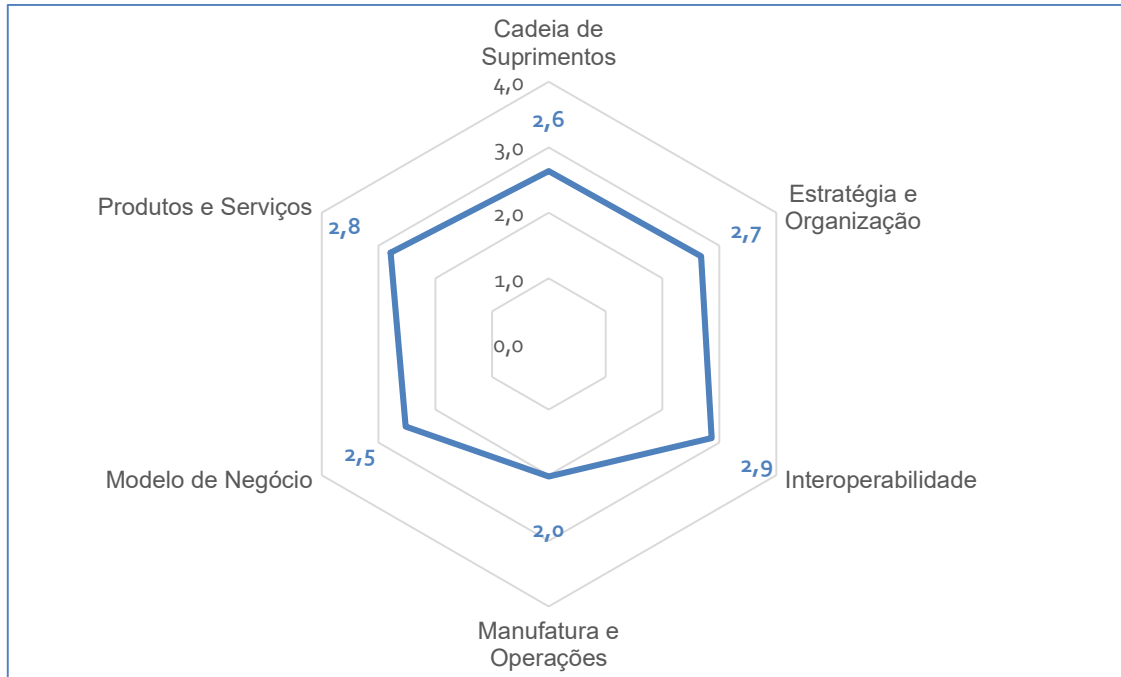
Figura 16 - Resultado do MEE com modelo completo.



Fonte: o próprio autor utilizando o SmartPLS 3.

O nível de maturidade de cada dimensão é obtido pela média das cargas fatoriais das variáveis observáveis nas variáveis latentes (dimensões) a elas ligadas aplicadas sobre o nível máximo possível, a partir do qual obtém-se o resultado da figura 17.

Figura 17 - Níveis de maturidade de cada dimensão pelo PIMM4.0



Fonte: o próprio autor utilizando o SmartPLS 3, com base em Santiago (2019)

O nível de maturidade tenderá ao valor máximo (4) quanto mais próximo de 1 forem as cargas fatoriais de cada variável observável ligada à dimensão (variável latente).

No caso aqui estudado, baseado em Santiago (2019) a empresa atingiu nível de maturidade 2,6, ou seja, encontra-se em transição do nível 2 – Tecnológico para o nível 3 – Transição, apresentando características afetas aos dois níveis, descritas como (quadro 9):

Quadro 9 - Níveis de maturidade 2 e 3 do modelo PIMM 4.0

Nível de Maturidade (PIMM4.0)	Descrição
Nível 2 – Tecnológico	Parte da organização possui automação e relativa interligação de processos, no entanto sem capacidade de visibilidade do modelo 4.0
Nível 3 – Transição	Há alta integração entre sistemas que permitem a visão geral do negócio, bem como a organização possui iniciativas de automação para ganho de capacidade, transparência e inteligência preditiva

Fonte: o próprio autor com base em Alencar *et al.* (2022), no Prelo.

O modelo estudado (SANTIAGO, 2019) ainda determina que as variáveis cujas cargas fatoriais forem inferiores a 0,5 deverão ser priorizadas dentro da estratégia de melhorar quanto as métricas aplicadas.

Partindo-se desse princípio, devem ser selecionadas como prioridades as seguintes variáveis:

- (i) Produtos e Serviços:
 - a. Customização.
- (ii) Manufatura e Operações:
 - a. Controle e Automação;
 - b. Transportes Autônomos para matéria prima e produto acabado; e
 - c. Modelagem Digital.
- (iii) Modelo de Negócio:
 - a. Decisão com base em dados

Com o fim de melhor visualizar os resultados, os dados das avariáveis que não atingiram nível de significância de forma a convergir às respectivas dimensões no MEE serão redundadas de forma comparativa juntamente com as variáveis elencadas como objetos de oportunidade de melhoria pelo PIMM4.0 (quadro 10), onde as variáveis marcadas em preto são coincidentes e as demais apresentam-se como não significativas apenas no MEE.

Quadro 10 - Variáveis com baixa significância para o modelo (MEE) e variáveis com oportunidades de melhoria (PIMM4.0)

MEE		PIMM 4.0	
Dimensão	Variável Observável	Dimensão	Variável Observável
1 Produtos e Serviços	1 Customização (R3)	1 Produtos e Serviços	1 Customização
2 Manufatura e Operações	1 Controle automação (R3)	2 Manufatura e Operações	1 Controle automação
	3 Preparação Ind 4.0 (R5)		3 Preparação Ind 4.0
	4 Transp Autônomos MP/PA (R2)		4 Transp Autônomos MP/PA
	5 Auto otimização		5 Auto otimização
	6 Modelagem digital (R4)		6 Modelagem digital
3 Estratégia e Organização	3 Investimentos Ind40 (R2)	3 Estratégia e Organização	3 Investimentos Ind40
	4 Capacitação RH		4 Capacitação RH
	5 Colaboração Deptos (R4)		5 Colaboração Deptos
4 Cadeia de Suprimentos	5 Lead Times (R2)	4 Cadeia de Suprimentos	5 Lead Times
5 Modelo de Negócio	1 Orientação a Serviço (R3)	5 Modelo de Negócio	1 Orientação a Serviço
	2 Decisão com base em dados (R2)		2 Decisão com base em dados
6 Interoperabilidade	1 Req de contratação para Ind40	6 Interoperabilidade	1 Req de contratação para Ind40
	3 Proteção de dados		3 Proteção de dados

Fonte: o próprio autor

Tal resultado foi obtido porque MEE é mais abrangente do que o modelo PIMM4.0, não podendo ser considerada anormalidade o fato deste ter selecionado menos variáveis do que aquele como de baixa significância para o sistema. Ademais o fato de todas as variáveis escolhidas pelo PIMM4.0 estarem dentro do rol identificado pelo MEE indica robustez matemática do modelo escolhido.

A partir das descrições de cada variável (APÊNDICE C), é possível concluir que são pontos em que há oportunidade de melhoria de forma convergente simultaneamente a partir do MEE e PIMM4.0 as seguintes variáveis:

a) Customização: que estabelece a capacidade de flexibilizar a produção e forma a individualizar o produto fornecido ao cliente.

b) Controle e automação: é o cerne da implementação da indústria 4.0 em uma planta, pois trata da instalação de tecnologias que resultarão na transformação digital.

c) Transportes autônomos MP/PA: inserção de inteligência nos processos de alimentação da produção.

d) Modelagem digital: é a estrutura digital que vai possibilitar que os dados coletados do processo sejam transformados em informações úteis.

e) Decisão com base em dados: está ligado à modelagem digital que gera informações úteis para subsidiar decisões.

Verifica-se a partir do quadro 10, que a empresa apresenta alguns processos automatizados, porém está em transição quanto à integração entre os mesmos para que seja dada visibilidade geral do negócio.

Sobre as variáveis identificadas pelo MEE como não significativas ao modelo, mas que não foram selecionadas como prioritárias pelo PIMM4.0, as mesmas serão abordadas a seguir (quadro 11):

Quadro 11 - Análise das diferenças de seleção das variáveis observáveis pelo MEE e PIMM4.0

(continua)

Dimensão	Variável Observável	Análise
1 Produtos e Serviços	1 Customização	

Quadro 11 - Análise das diferenças de seleção das variáveis observáveis pelo MEE e PIMM4.0

(continua)

Dimensão	Variável Observável	Análise
2 Manufatura e Operações	1 Controle automação	
	3 Preparação Ind 4.0	Embora a metodologia de Ringle <i>et al.</i> (2014) recomende a eliminação das variáveis com menor valor aos casos em que AVE relativo ao construto não atinja o valor alvo, a presente variável foi excluída seguindo os referidos autores na 5ª iteração de avaliação dos AVE, tendo como carga fatorial 0,503, ou seja, em nível acima daquele recomendado como limite inferior para a média. Esta variável, conforme descrição no APÊNDICE C, refere-se ao estágio em que a empresa se encontra em aspectos de funcionários, engenharia, máquinas para promover a transformação digital. Diante da carga fatorial atingida na última iteração realizada, alinhada ao nível de maturidade obtido pelo PIMM 4.0, entende-se que o tratamento desta variável, diante das demais identificadas possui menor prioridade.
	4 Transp Autônomos MP/PA	
	5 Auto otimização	Da mesma maneira que “3 Preparação Ind 4.0”, esta variável foi a última a ser excluída pela metodologia de Ringle <i>et al.</i> (2014). A auto otimização, segundo APÊNDICE C, está relacionada a capacidade dos sistemas de se autodiagnosticar, simulando possibilidade de solução de problemas ou melhorias. O pleno atendimento a esta característica está intimamente ligado ao nível 4 – avançado do modelo PIMM4.0 e, em estágios intermediários, verifica-se que, como no caso da variável imediatamente anterior estudada, tendo cargas fatorial de 0,509, possui menor prioridade diante das outras variáveis.
	6 Modelagem digital	
3 Estratégia e Organização	3 Investimentos Ind40	Esta variável foi eliminada apresentando carga fatorial de 0,521 e refere-se à existência de plano e acompanhamento da implementação da transformação digital. Ao caso, a verifica-se no APÊNDICE B que as respostas à presente variável possuem média de 2,1, que de forma marginal ao MEE traz alinhamento ao resultado de maturidade geral obtido pelo PIMM 4.0, demonstrando que o nível atingido, juntamente com a carga fatorial à variável latente, não elege a mesma como sendo de tratamento prioritário.
	4 Capacitação RH	Esta variável foi excluída do modelo por apresentar carga t de 1,941, conforme figura 13, cujo parâmetro alvo seria atingir no mínimo 1,96 para nível de significância de 5%. O valor obtido corresponde à significância de 5,36%, ou seja, diferença considerada baixa para o estudo avaliado. Ademais, cabe observar que a carga fatorial desta variável corresponde a 0,585.
	5 Colaboração Deptos	Com carga fatorial de 0,575, esta variável mede a interrelação entre departamentos. Esta variável não foi selecionada pelo PIMM4.0 como sendo uma potencial oportunidade de melhoria, no entanto, mesmo não havendo relação direta entre as dimensões definidas para o modelo e os departamentos de uma empresa, a ausência de significância das ligações entre as dimensões reveladas pelos valores t calculados pelo SmartPLS no módulo <i>bootstrapping</i> pode ser beneficiada pela melhoria da interrelação entre departamentos. Tal interpretação é difícil de se chegar a partir tão somente de avaliações parametrizadas e, por isso, não se considera tal desalinhamento como invalidante do PIMM4.0.

Quadro 11 - Análise das diferenças de seleção das variáveis observáveis pelo MEE e PIMM4.0

(conclusão)

Dimensão	Variável Observável	Análise
4 Cadeia de Suprimentos	5 Lead Times	Caracteriza o tempo de entrega da empresa tendo em vista o ciclo da manufatura, tempo de atravessamento e <i>aging</i> (técnica de monitoramento que gastos e saldos de materiais em estoque). Esta variável foi desprezada no MEE tendo carga fatorial igual a 0,524 e média de avaliação (APÊNDICE B) de 2,519 nas respostas. Ou seja, nível alinhado com a maturidade obtida.
5 Modelo de Negócio	1 Orientação a Serviço	Esta variável aparece também ligada à dimensão “produtos e serviços” como sendo a medida da agregação de serviços digitais embarcados em produtos como forma de agregação de valor digital. Em modelos de negócios, trata do ecossistema de negócios da empresa. Embora tenha significado um pouco mais amplo do que quando ligada à “produtos e serviços” trata também e agregação de valor digital. Se ligada a “modelo de negócios”, a carga fatorial foi de 0,536, em “produtos e serviços”, ficou em 0,908. A empresa avaliada é beneficiária da lei de informática e possui como norte a orientação a serviços. Dentro deste contexto, essa variável não poderia ser considerada como prioridade e, se o fosse, deveria ser descartada na elaboração de estratégia rumo à transformação digital. Obviamente o MEE não tem como contextualizar os dados nele inseridos, restando assim, apenas uma incongruência tratada no âmbito da análise dos resultados emitidos pelos sistemas, não sendo ponto invalidados de nenhum dos métodos.
	2 Decisão com base em dados	
6 Interoperabilidade	1 Req de contratação para Ind40	Ambas variáveis foram eliminadas pelo teste de Validade Discriminante que não trata diretamente da significância da variável ao modelo, mas da maior correlação da variável à outra dimensão. Nesse sentido não se pode interpretar que a exclusão estabelece uma necessidade de implementação de melhorias quanto aos significados das respectivas variáveis.
	3 Proteção de dados	

Fonte: o próprio autor.

Fica, portanto, verificado matematicamente, com análise de contexto do resultado, que o resultado extraído do modelo PIMM4.0 de Azevedo e Santiago (2019) é consistente quando avaliado sob a perspectiva do MEE por meio do auxílio do SmartPLS 3 na avaliação multivariada.

4.4. ANÁLISE COMPARATIVA

O estudo bibliométrico realizado neste trabalho identificou um rol de obras como sendo estado da arte quanto à medição de nível de maturidade disponível na literatura.

Dos trabalhos selecionados, serão comparados dois deles segundo os seguintes critérios:

a) Tendo sido os trabalhos mais relevantes de acordo com o estudo bibliométrico realizado neste trabalho, a obra de Schumacher *et al.* (2016) atualizada por Schumacher *et al.* (2019) será utilizada com parâmetro de comparação na obtenção do nível de maturidade com aquele obtido pelo PIMM4.0; e

b) Dado que este trabalho realizou estudo de caso de empresa beneficiária da Lei de Informática, será utilizada a metodologia definida em Brasil (2018b), que segundo a mesma, adotou-se a metodologia ACATECH, que foi publicada por Schuh *et al.* (2020).

4.4.1. Modelo de Schumacher *et al.* (2019)

Segundo Itikawa e Santiago (2021), o modelo de Schumacher *et al.* (2019) trata-se de uma atualização daquele elaborado por Schumacher *et al.* (2016) que justifica a aplicação somente do mais recente.

A figura 7 ilustra a formação do modelo que na versão mais atual conta de 8 dimensões e 65 variáveis.

Para que fosse possível a análise comparativa entre os modelos de Azevedo e Santiago (2019) com o de Schumacher *et al.* (2019) foi necessária a elaboração de uma tabela de conversão (de/para) apresentada no APÊNDICE D, não sendo realizado nenhum ajuste no nível das respostas dadas no questionário aplicado pelo fato do modelo de Schumacher *et al.* (2019) também estar estruturado em 4 níveis.

Os valores atribuídos a cada variável observável e latente segundo Schumacher *et al.* (2019) são obtidos por meio da utilização das seguintes fórmulas:

$$M_{IS} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_{Ii}$$

$$M_{DS} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{Di} \cdot g_{DAi}}{\sum_{i=1}^n g_{DAi}}$$

Onde,

D = Dimensão

I = item

g_{DA} = fator de peso

n = número de respostas

M_{IS} = Maturidade do item

M_{DS} = Maturidade da dimensão

Nas fórmulas acima, o item M_{IS} refere-se à variável observável, ou seja, à resposta dada ao questionário. Aplicando-se as respostas dispostas no APÊNDICE D nas fórmulas acima, obtém-se os valores calculados na tabela 11 como resultado (não se considerou a variável “Integração do cliente no desenvolvimento de produtos” pela não existência de variável equiparada no modelo PIMM4.0, que, conforme já apresentado na meta análise, optou-se por desprezá-la por não considerar que o fato prejudique a conclusão do trabalho aqui realizado.

Tabela 11 - Maturidade aplicado ao estudo de caso conforme Schumacher et al. (2019)

(continua)			
Dimensão	Variável Observável	M_{IS}	M_{DS}
Dimensão 1 – Tecnologia	Tecnologia para troca de informações	2,4	
	Utilização de tecnologia na nuvem	2,7	
	Dispositivos móveis no chão de fábrica	2,3	
	Armazenamento de informações descentralizado	2,7	
	Coleta de dados por sensores	2,3	2,3
	Computadores integrados a máquinas	2,4	
	Computadores integrados a ferramentas	2,4	
	Manufatura aditiva	1,7	
	Uso de robôs	2,3	
Dimensão 2 – Produtos	Individualização	2,4	
	Flexibilidade das características do produto	2,4	
	Coleta das informações de uso de produtos	3,2	
	Componentes de processamento de dados em produtos	3,2	2,9
	Produtos conectados à internet	3,2	
	Compatibilidade e interoperabilidade digitais	2,9	
	Serviços digitais relacionados a produtos físicos	2,9	
Dimensão 3 – Clientes e Parceiros	Abertura para novas tecnologias	2,3	
	Competências em TIC moderna	2,3	
	Digitalização do contato com cliente	2,3	
	Uso de dados do cliente	3,2	2,5
	Colaboração da área de TI no desenvolvimento de produto	2,6	
	Contato digital com parceiros da empresa	2,3	
	Grau de digitalização dos parceiros da empresa	2,3	
Dimensão 4 - Processo de criação de valor	Automação do processo de criação de valor	2,3	
	Autonomia do parque de máquinas	2,3	
	Troca de informações entre máquinas	2,4	
	Controle remoto do parque de máquinas	2,3	
	Controle de qualidade automático	2,3	2,2
	Manutenção das máquinas com base em dados	1,8	
	Manuseios automatizados	2,3	
	Uso de robôs colaborativos	2,3	
Dimensão 5 - Dados e informações	Processos com informações digitais	2,9	
	Coleta de dados automática	2,3	
	Análise dos dados coletados	2,9	2,6
	Tomada de decisão com base em dados	2,9	

Tabela 11 - Maturidade aplicado ao estudo de caso conforme Schumacher et al. (2019)

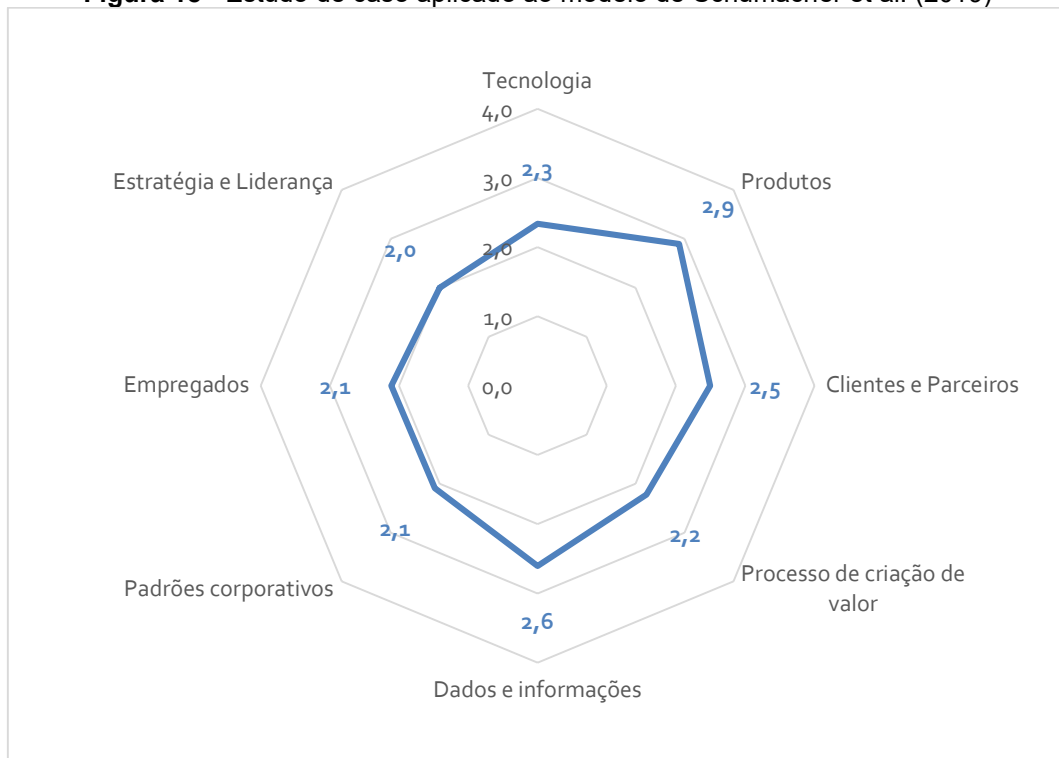
Dimensão	Variável Observável	(conclusão)	
		MIS	MDS
Dimensão 5 - Dados e informações	Fornecimento de dados automatizado	2,3	2,6
	Fornecimento de informação individualizada	2,9	
	Visualização do processo digital	1,7	
	Simulação de cenários futuros por meio de software	2,9	
Dimensão 6 – Padrões corporativos	Monitoramento da implementação da indústria 4.0	1,8	2,1
	Padrões de tecnologia	1,7	
	Recrutamento para indústria 4.0	2,0	
	Ajuste dos arranjos de trabalho	2,0	
	Treinamento de funcionários para competências digitais	2,0	
	Proteção legal de dados para produtos e serviços digitais	2,6	
	Cyber segurança	2,6	
	Regras para empregados no ambiente de trabalho digital	2,0	
Dimensão 7 – Empregados	Abertura para novas tecnologias	2,0	2,1
	Competências em TIC	2,0	
	Conhecimento em dados por funcionários não ligados à área de TI	2,0	
	Conhecimento em cyber segurança por funcionários não ligados à área de TI	2,6	
	Disponibilidade para arranjos de trabalho flexíveis	2,0	
	Autonomia dos funcionários do chão de fábrica	2,0	
	Experiência em trabalhos multidisciplinares	2,0	
	Disponibilidade para treinamento contínuo no trabalho	2,0	
	Conhecimento das competências dos funcionários	2,4	
Dimensão 8 – Estratégia e Liderança	Plano de implementação da indústria 4.0	1,6	2,0
	Coordenação central das atividades relacionadas à indústria 4.0	1,6	
	Recursos financeiros para a implementação da indústria 4.0	2,1	
	Comunicação sobre as atividades relacionadas à indústria 4.0	1,8	
	Objetivos dos funcionários na implementação da indústria 4.0	2,0	
	Auditoria de risco para indústria 4.0	2,1	
	Disposição da gerência para a implementação da indústria 4.0	2,4	
	Treinamento da liderança para indústria 4.0	2,4	

Fonte: o próprio autor com base em Schumacher *et al.* (2019).

Para o cálculo das maturidades relativas às dimensões (M_{DS}), pela ausência dos valores dos fatores de peso (g_{DA}) das maturidades de cada variável observável (M_{IS}), atribuiu-se o valor 1.

Da tabela 11, obtém-se a visualização do resultado da aplicação do modelo de forma gráfica na figura 18:

Figura 18 - Estudo de caso aplicado ao modelo de Schumacher et al. (2019)



Fonte: o próprio autor com base em Schumacher *et al.* (2019).

Os autores não resumem os valores encontrados por dimensão em um único indicador, no entanto, é possível identificar a partir do resultado apresentado na tabela 11 e figura 18 que as maturidades obtidas em cada dimensão variam entre 2 e 2,9.

Apenas para o fim comparativo, aplicando-se a média aritmética nos referidos valores, tem-se como resultado 2,3, que comparado à maturidade obtida utilizando-se o modelo PIMM4.0 (2,6), verifica-se que há convergência na escala comum entre os dois, que varia entre 1 e 4.

4.4.2. Portaria nº 2.091, de 17 de dezembro de 2018 (BRASIL, 2018b) / Modelo ACATECH (SCHUH et al., 2020)

A Portaria nº 2.091/2018, publicada pelo então Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, pasta até a data da conclusão deste trabalho assumida pelo Ministério da Economia, trouxe ao ordenamento jurídico afeto às normas de investimentos em PD&I no âmbito da Lei de Informática a metodologia a ser empregada para a utilização de recursos financeiros para a implementação da indústria 4.0.

Segundo o referido instrumento, a base para a sua elaboração foi o trabalho publicado pela ACATECH, que como já anteriormente referenciado, trata-se da obra de Schuh *et al.* (2020).

Este trabalho iniciará a análise comparativa, utilizando como base o estudo de caso aplicado à metodologia descrita na Portaria nº 2.091/2018, que estabelece 6 estágios de maturidade em indústria 4.0, quais sejam (BRASIL, 2018b):

(i) Computadorização: há coleta de dados digitais localmente que são analisados por inteligência artificial para geração de informação e conhecimento suficientes sobre a evolução do processo. Assim, o processo tem capacidade de identificar a relação de causa e efeito que possibilite auto manutenção de equipamentos e que juntamente a sistema de controle de qualidade na saída, possa acionar sistema de auto otimização, não permitindo a produção de não conformidade. Tais características são restritas ao subprocesso.

(ii) Conectividade: há integração de duas ou mais células de manufatura que tenham influências mútuas que permita por meio de inteligência artificial controlar variáveis de processo de cada célula com foco na qualidade final do processo. Nesse nível há controle local e do todo e não mais concentrado em uma única célula.

(iii) Visibilidade: os dados gerados na produção alimentam o gêmeo digital, permitindo simulações para a execução de simulações com propósito de realizar auto otimização, bem como contribuir para a redução do ciclo de novos desenvolvimentos, pois as variáveis relativas aos processos de transformação passam a ser conhecidas.

(iv) Transparência: dados, informações e conhecimentos são utilizados para auto corrigir ou auto otimizar todos os processos e subprocessos de transformação e, de forma simultânea, fornece subsídios para que cadeia suprimentos para determinação de demanda de fornecimento, podendo-se prever a produção futura de insumos.

(v) Capacidade preditiva: há integração de demanda, processo de transformação e cadeia de suprimentos, além de ter capacidade de, por meio de inteligência artificial, criar cenários de

modelos de tendência que visam a auto correção e auto otimização de todos os processos e subprocessos compatíveis com a indústria 4.0.

(vi) Adaptabilidade: promove a integração de toda a estrutura organizacional da empresa com todos os níveis anteriores implementados, permitindo à gestão da empresa a visualização dos cenários de todo o negócio, incluindo a cadeia produtiva local ou global.

A avaliação sugerida pela norma é simples e se fundamenta de 6 questões apresentadas no Anexo A.

Segundo o referido instrumento normativo, a resposta sim para a pergunta significa que a empresa se encontra no respectivo estágio.

Observa-se, portanto, que o modelo adotado pelo Governo Federal para avaliação na ZFM não é estruturado em dimensões, mas tão somente em níveis, os quais se baseiam em perguntas e sub perguntas que de forma binária estabelecem o grau de maturidade da empresa.

Por outro lado, a obra de Schuh *et al.* (2020) apresenta uma estrutura de avaliação de nível de maturidade ilustrada na figura 8, na qual é apresentado modelo dividido em três níveis: São 4 áreas estruturais (recursos, sistemas de informação, estrutura organizacional e cultura), cada uma dividida em dois princípios, os quais são análogos às dimensões tratadas neste trabalho, totalizando, portanto, 8 dimensões obtidas indiretamente por 26 variáveis.

De forma análoga à realizada na análise comparativa com o modelo de Schumacher *et al.* (2019), foi elaborada uma tabela de conversão na qual as respostas foram atribuídas conforme descrito no APÊNDICE E.

Observe que as variáveis foram quotizadas na escala [1,6]. A conversão entre as escalas, considerando que a PIMM4.0 está definida no intervalo [1,4] se deu pela fórmula:

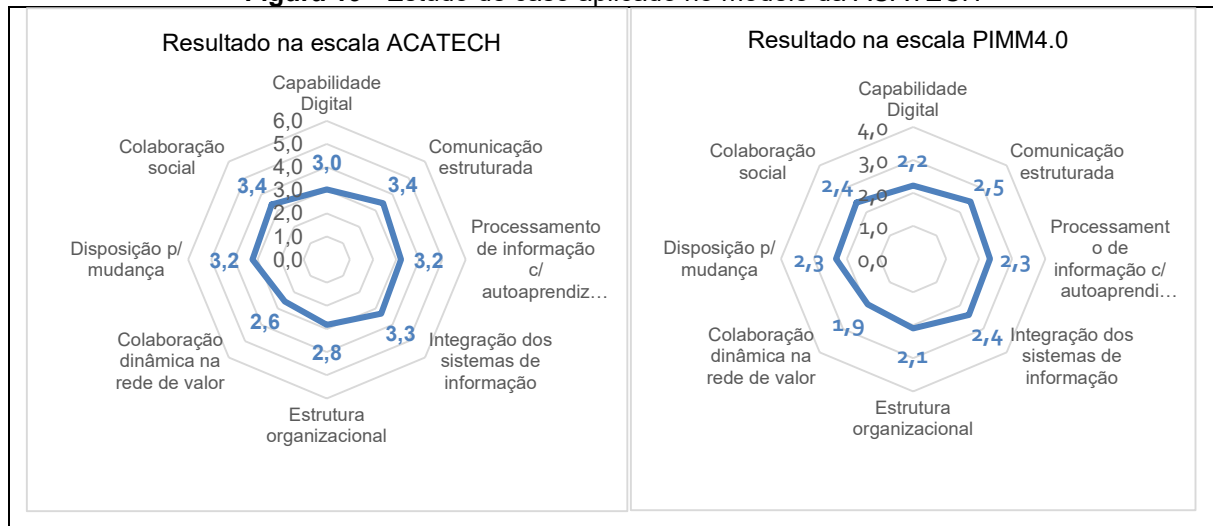
$$\frac{V_{PIMM4.0} - 1}{3} = \frac{V_{ACATECH} - 1}{5}$$

Tendo em vista que Schuh *et al.* (2020) não traz em seu texto o método para se obter o nível de maturidade a partir dos valores atribuídos às variáveis, este trabalho, por simetria, utilizará o cálculo adotado por Schumacher *et al.* (2019), a partir do que pode ser representado na figura 19, no qual o gráfico da esquerda retrata a

aplicação do estudo de caso pelo modelo ACATECH e o da direita a conversão do resultado para a escala PIMM4.0.

Como parâmetro de comparação serão apresentadas somente as dimensões (princípios), pois estas equiparam-se aos modelos anteriormente analisados.

Figura 19 - Estudo de caso aplicado no modelo da ACATECH



Fonte: o próprio autor com base em Schuh *et al.* (2020)

É importante observar que Schuh *et al.* (2020) não estrutura o modelo na forma descrita na figura 19, sendo que a adaptação foi necessária para que fosse atendido o objetivo deste trabalho que foi o de se obter uma análise comparativa.

Aplicando-se a média geométrica sobre os valores encontrados para cada dimensão, tem-se como resultado 2,3 na escala PIMM4.0, que assim como na comparação com o modelo de Schumacher *et al.* (2019), há convergência com o modelo PIMM 4.0.

4.5. AVALIAÇÃO DO RESULTADO NO CONTEXTO DA ZFM E LEI DE INFORMÁTICA

A empresa objeto do estudo de caso, como anteriormente caracterizada, é fabricante de bens de informática e, portanto, deve investir compulsoriamente 5% do seu faturamento deduzidos tributos e aquisições incentivadas (BRASIL, 1991) em PD&I.

Do ponto de vista dos sistemas de produção na ZFM, a afirmação de Oliveira e Correia (2019) sobre a ausência de modernização, traz a interpretação de que a

implementação da indústria 4.0 está no âmbito da PD&I, devendo, ainda, segundo Reischauer (2018), na forma de tripla hélice, envolver governo, academia e empresas.

Verifica-se que a ZFM é provida das três vertentes observadas por Reischauer (2018), pois possui ecossistema no qual estão presentes universidades públicas e privadas e ICT (academia), políticas públicas que obrigam investimentos em PD&I, permitindo, inclusive, direcionar fração desse valor para a implementação de indústria 4.0 (BRASIL, 1991; BRASIL, 2018b) e empresas que, por iniciativa própria ou por obrigação investem em PD&I.

De forma abrangente as hélices representadas pelas empresas e academia possuem ligação direta, pois há obrigação legal para investimento de recursos dos quais, um percentual mínimo é exigido que seja aplicado em ICT credenciadas pelo CAPDA (BRASIL, 1991), ou seja, tratam-se de instituições mantidas com determinado controle governamental.

Por outro lado, a regência desses investimentos em PD&I é feita por meio de políticas públicas voltadas para que a transformação digital das empresas ocorra (REISCHAUER, 2018), sendo que é consenso entre os autores pesquisados que o caminho a ser traçado se inicia pelo estudo da maturidade da empresa (SCHUMACHER *et al.*, 2019; AZEVEDO e SANTIAGO, 2019; SCHUH *et al.*, 2020).

A Portaria nº 2.091/2018 utiliza-se de medições de maturidade como base para a validação de investimentos compulsórios em PD&I sob a forma de atualização da produção em indústria 4.0 (BRASIL, 2018b), mas embora cite que utiliza a metodologia desenvolvida pela ACATECH, verifica-se que alguns pontos merecem atenção.

Por exemplo, a descrição dos estágios de maturidade do ANEXO I da Portaria nº 2.091/2018 descreve o estágio 1 (computadorização) como sendo aquele no qual há processos isolados que apresentam automatização e cujos dados são analisados por inteligência artificial, com capacidade de gerar informações por meio de processamento provido de inteligência artificial capaz de gerar auto manutenção ou auto correção para que o subprocesso não produza não conformidades (BRASIL, 2018b). No mesmo instrumento, notadamente na tabela para classificação, a empresa pode se considerar como no estágio 1 se possuir algum processo digital do processo ou subprocesso, sendo que as perguntas colocadas como apoio, retratam tão somente sistemática na qual há anotação de dados ou parâmetros em algum sistema.

Schuh *et al.* (2020) descreve o estágio de computadorização como sendo aquele no qual tecnologias são utilizadas de forma isolada na fábrica, no entanto é possível encontrar diversas máquinas sem interface digital, impossibilitando que haja conectividade para que os dados provindos do processo realizado sejam automaticamente processados e utilizados.

Conclui-se do exemplo acima que há um desalinhamento, na política pública entre o conceito e a medição, sendo que somente a medição converge com a definição dada pela ACATECH.

Outra questão a ser observada trata do limitador estabelecido pela norma brasileira que estabelece que, identificado o nível de maturidade atual, a empresa deverá objetivar, pelo menos, a elevação para o estágio 3, sendo que a avaliação dos estágios inicial e final do projeto devem ocorrer por uma auditoria independente.

A avaliação do estágio de maturidade é realizada pela resposta de uma única pergunta relativa a cada estágio de maturidade (ANEXO A).

Conforme aqui estudado, a determinação da maturidade de uma empresa sob as métricas da indústria 4.0 passa pelo conhecimento de diversas variáveis mensuradas, as quais convergem para dimensões que as resumem, para então se obter a maturidade (SCHUMACHER *et al.*, 2019; AZEVEDO e SANTIAGO, 2019).

Nesse campo, conclui-se que a política pública não exige a utilização de metodologia cientificamente comprovada para que seja executada pelas empresas e posteriormente avaliada pelos agentes públicos responsáveis pelo acompanhamento.

Sob o prisma técnico-jurídico, a forma de se determinar a maturidade previamente e após a realização de um projeto pela resposta por meio de resposta binária a uma pergunta relativa a cada estágio de maturidade por uma auditoria não necessariamente gerará rastreabilidade dos fundamentos de julgamento.

Assim, o estudo de caso realizado obteve como resposta de maturidade o valor 2,6 em uma escala no intervalo [1,4] por meio da utilização do modelo idealizado por Azevedo e Santiago (2019).

Tendo sido realizada avaliação em somente uma empresa, as conclusões que se podem obter desse resultado são absolutas, pois não será possível adentrar em questões tecnológicas alcançadas por outras empresas como forma comparativa, no entanto, desse resultado, observando o gráfico da figura 17, verifica-se que a dimensão “manufatura e operações” é aquela que atingiu o menor valor (2).

Sob o prisma das possibilidades de investimento em PD&I, podem se beneficiar desses recursos de forma direta as dimensões “produtos e serviços” e “manufatura e operações”.

Nesse cenário, cria-se a expectativa de que haja benefício no parque fabril no sentido de modernização dos meios e métodos de produção por meio de projetos de PD&I, no entanto, o estágio diagnosticado neste trabalho revela que mesmo pertencendo a um grupo de empresas investidoras em PD&I, o estágio de maturidade em indústria 4.0, sob os diversos aspectos avaliados continua em nível intermediário na escala.

Por questões de sigilo empresarial, não se buscou dados sobre os investimentos realizados pela empresa, no entanto, o resultado mediano obtido, pode ser explicado pela insegurança promovida pela política pública materializada pela Portaria nº 2.091/2018, que acaba não atingindo seu objetivo na medida em que não se percebe que empresa a ela submetida tenha obtido êxito na modernização da produção.

É fato, portanto, que dentro das métricas analisadas, a empresa não se encontra em nível avançado de maturidade, mesmo sendo beneficiária da Lei de Informática e investindo compulsoriamente em PD&I valor anual de parcela relativamente substancial de seu faturamento.

5. CONCLUSÃO

Com o fim de atingir o objetivo deste trabalho que é de realizar diagnóstico da maturidade de empresa do polo industrial de Manaus sob métricas da indústria 4.0 por meio de estudo de caso comparativo sob a perspectiva da lei de informática, foram cumpridos os seguintes objetivos específicos: (i) conhecer o estado da arte em termos de métricas de maturidade da indústria 4.0; (ii) escolher modelo de maturidade a ser aplicado; (iii) avaliar grau de maturidade de empresa beneficiária da Lei de Informática (estudo de caso comparativo); e (iv) fazer um diagnóstico contextualizado sob a luz da Lei de Informática.

Para o conhecimento do estado da arte em modelos de mensuração do nível de maturidade em indústria 4.0 utilizou-se a metodologia denominada *Process Knowledge – Constructivist* (ProKnow-C) que a partir do total de 4.144 artigos em 20 bases de periódicos, selecionou-se:

- a) modelos de maturidade em indústria 4.0: os primeiros 18 artigos do quadro 7;
- b) PD&I relacionado à implementação das tecnologias relacionadas à indústria 4.0: os 6 últimos artigos do quadro 7; e
- c) publicações de entidades representativas que estudaram a indústria 4.0 e que não se encontram disponíveis em periódicos: tabela 2.

Dos modelos selecionados, foram elencados dois deles para que fossem utilizados como referência para a realização da análise comparativa aplicada ao estudo de caso realizado: o elaborado por Schumacher *et al.* (2019), que se trata da atualização do modelo criado por Schumacher *et al.* (2016), pelo fato da relevância identificada no estudo bibliométrico; e o de Schuh *et al.* (2020), responsáveis pelo trabalho publicado pela ACATECH, haja vista que, além da relevância revelada pelo ProKnow-C, é referenciado como base pela Portaria nº 2.091/2018, que é a norma regulamentadora na abrangência da Lei de Informática que trata de investimentos em indústria 4.0.

A escolha do modelo utilizado passou pelas seguintes etapas:

- a) identificação de modelo, no qual se primou pela utilização daquele que tivesse autoria local dadas as especificidades da região da

ZFM, assim, foi adotado o PIMM4.0 concebido primariamente no trabalho de Azevedo e Santiago (2019);

b) meta análise comparativa com os parâmetros analisados pelos modelos identificados como estado da arte. Pelos motivos previamente citados, foram elencados os trabalhos de Schumacher *et al.* (2019) e Schuh *et al.* (2020); e

c) validação do modelo, que tratou:

(i) da validade matemática realizada por meio de Análise Fatorial Confirmatória, uma vez que o modelo analisado é estruturado por variáveis que podem ser observadas que convergem para variáveis derivadas, denominadas pela metodologia de equações estruturais de variável latente ou construto e, pelo modelo utilizado, de dimensões. Essa etapa do trabalho foi viabilizada pelo uso do software SmartPLS 3; e

(ii) da validade em relação aos modelos identificados como estado da arte pelo estudo bibliométrico.

A aplicação do modelo teve que ocorrer simultaneamente à escolha do mesmo, pois para que houvesse a validação, foi necessário submeter o modelo sob a forma de questionário com 38 perguntas, cada qual com 4 respostas em escala *likert* a funcionários chave de empresa beneficiária da Lei de Informática situada na ZFM. A seleção da empresa ocorreu pela média do faturamento do segmento de eletroeletrônicos, subsegmento de fabricantes de bens de informática. O porte da empresa e produtos fabricados, foram escolhidos de forma a se ter uma visão mediana do geral.

Foram obtidas 27 respostas, as quais foram submetidas ao processo de validação do modelo.

Verificou-se que o modelo de Azevedo e Santiago (2019), materializado sob a forma do PIMM4.0 foi validado pelo MEE e por análise comparativa com os modelos de Schumacher *et al.* (2019) e Schuh *et al.* (2020).

A avaliação do grau de maturidade pelo PIMM4.0 resultou em nível de 2,6, ou seja, a empresa encontra-se em transição do nível 2 – Tecnológico para o 3 – Transição, apresentando características afetas aos dois níveis, descritas no quadro 19.

Assim, há automação parcial da empresa que não tem capacidade de visualização de toda a cadeia de valor.

Constatou-se ainda que a dimensão “manufatura e operações” obteve o menor grau de maturidade, totalizando 2.

Do diagnóstico contextualizado à Lei de Informática do resultado obtido, chegou-se à conclusão que não é possível afirmar que o nível de maturidade da empresa na qual se realizou o estudo de caso tenha se beneficiado do fato da mesma realizar investimentos anuais compulsórios, devendo, para se obter precisamente tal informação, avaliar as maturidades das empresas do PIM de forma ampla verificando se dos projetos executados com o fim de cumprir a obrigação legal, corroboraram para o atingimento dos níveis apurados.

Constatou-se ainda nesta etapa que a Portaria 2.091/2018, embora determine forma objetiva a validação dos investimentos em PD&I decorrentes da Lei de Informática em indústria 4.0 por meio da avaliação da maturidade antes e depois da realização de um projeto, a metodologia de avaliação é divergente do que se estabelece na literatura, inclusive da publicada pela ACATECH no trabalho de Schuh *et al.* (2020), a qual se faz referência em sua redação.

A avaliação binária para se identificar o estágio de maturidade por meio de resposta à pergunta única não encontra embasamento na literatura científica. Conforme evidenciado pelo estudo bibliográfico, os modelos são multidimensionados, revelando que a obtenção da maturidade de uma empresa nas métricas da indústria 4.0 deve ser feita pela mensuração de diversas variáveis transversais a todas atividades de uma empresa, não se limitando à implementação de tecnologia.

Nesse sentido, como conclusão deste trabalho, resta verificado que o estudo de caso não revelou influência da disponibilidade de recursos financeiros destinados à PD&I sobre a maturidade da empresa analisada quanto às métricas da indústria 4.0.

A possível insegurança técnica e jurídica, pelo fato de o recurso ser auditado pelo Governo Federal do Brasil representado na região da Zona Franca de Manaus pela Suframa, pode ser uma das causas que afasta as empresas da modalidade de investimento prevista pela Portaria 2.091/2018.

O estudo de caso aqui apresentado possui a limitação da realização de caso unitário, que permitiu validar cientificamente um modelo local, no entanto, o ganho científico será tão maior quanto for a abrangência da replicação da análise aqui apresentada, pois somente a partir do conhecimento geral do status do Polo Industrial

de Manaus quanto a maturidade nos aspectos relacionados à Indústria 4.0, será possível elaborar políticas públicas de fato capazes de trazer benefícios aos meios de produção com a utilização de recursos que compulsoriamente são investidos todos os anos.

Nesse contexto, cabe atentar aos requisitos levantados nas obras estudadas que consideram como fatores importantes para a materialização da transformação digital a inclusão desta na estratégia da empresa com o envolvimento da alta administração na sua implementação, pois se assim o fosse, os recursos de PD&I:

- a) estariam sendo utilizados de forma focada na transformação digital;
- b) seriam apenas aceleradores da digitalização, pois mesmo aquelas que não possuem tal compromisso, estariam engajadas para atingir um maior grau de maturidade.

Por fim, este trabalho consistiu no início do movimento científico voltado à análise do potencial que os recursos oriundos da obrigação estabelecida na Lei de Informática possuem, tendo como pilares a validação científica de uma ferramenta de medição de maturidade e a análise crítica da política pública a partir de um estudo de caso.

Assim, como trabalhos futuros, recomenda-se que seja realizada uma análise aprofundada, naquilo em que os limites da ética permitirem, sobre os investimentos realizados pelas empresas beneficiárias da Lei de Informática no âmbito dos processos produtivos com a finalidade de interpretar os efeitos dos mesmos sobre as métricas aqui estudadas.

Tal estudo viabilizaria o que vem sendo reiteradamente lembrado neste trabalho: o conhecimento do nível de maturidade é o primeiro passo para se estabelecer a estratégia necessária no caminho da indústria 4.0, assim, somente por meio de uma avaliação ampla do PIM, pode-se elaborar uma política forte capaz de mobilizar a tripla hélice da inovação sobre a qual deve se basear a 4ª Revolução Industrial (governo, empresas e academia/institutos).

Ademais, a referida norma deverá utilizar metodologia embasada na ciência a fim de que a execução e fiscalização possam ser realizadas de forma a trazer mais segurança ao ecossistema, que poderá efetivamente mensurar os efeitos da política pública com o fim da melhoria da produtividade e competitividade desta região de exceção por meio de CT&I, o que traria reflexos técnicos e econômicos capazes de ser percebidos em diversas camadas da nossa sociedade.

6. REFERÊNCIAS

- AFONSO, Michele H. F. *et al.* **Como Construir Conhecimento Sobre O Tema De Pesquisa?** Aplicação do Processo Proknow-C na Busca de Literatura Sobre Avaliação do Desenvolvimento Sustentável. *In: Revista de Gestão Social e Ambiental*, v. 5, n. 2, p. 47–62, 2012.
- ALENCAR, Karina C D *et al.* **Nível de Maturidade na Indústria 4.0 – Estudo de caso de uma indústria de eletroeletrônicos do parque industrial de Manaus.** *In: ENEGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 42, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2022. No prelo.
- AZEVEDO, Americo; SANTIAGO, Sandro Breval. **Design of an Assessment Industry 4.0 Maturity Model: an application to manufacturing company.** *In: 4th North American IEOM Conference. IEOM 2019*, p. 208-217, 2019.
- BONAZZI, Fábio L.Z., ZILBER, Moises A. **Inovação e Modelo de Negócio: um estudo de caso sobre a integração do Funil de Inovação e o Modelo Canvas.** *Revista Brasileira de Gestão de Negócios. Review of Business Management*, v. 16, n. 53, p. 616-637, 2014.
- BRASIL. **Lei nº 8.387, de 30 de dezembro de 1991.** 1991. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L8387.htm>. Acesso em: 11 ago. 2020.
- BRASIL. **Lei nº 13.674, de 11 de junho de 2018.** 2018a. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/L13674.htm>. Acesso em: 11 ago. 2020.
- BRASIL, Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. **Portaria nº 2.091, de 17 de dezembro de 2018.** *In: Diário Oficial da União, Brasília, DF, 20 dez. 2018, n. 244, seção 1, p. 144-146.* 2018b.
- BRASIL, Comitê das Atividades de Pesquisa e Desenvolvimento na Amazônia - CAPDA. **Resolução CAPDA nº 9, de 29 de outubro de 2019.** *In: Diário Oficial da União, Brasília, DF, 6 nov. 2019, n. 215, seção 1, p. 159, 2019.*
- BUHR, Daniel. **Social innovation policy for Industry 4.0.** Berlin, Alemanha. *In: Friedrich-Ebert-Stiftung*, 2015.
- BURNS, Thomas; COSGROVE, John; DOYLE, Frank. **A Review of Interoperability Standards for Industry 4.0.** *Procedia Manufacturing*, v. 38, p. 646-653, 2019.
- CAS – Conselho de Administração da Suframa. **Resolução nº 40, de 10 de maio de 2018.** *In: Diário Oficial da União, Brasília, DF, 21 mai. 2018, n. 96, seção 1, p. 54, 2018.*
- CASTELO-BRANCO, Isabel; CRUZ-JESUS, Frederico; OLIVEIRA, Tiago. **Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing: Evidence for the European Union.** *In: Computers in Industry*, v. 107, p. 22-32, 2019.
- CIEAM – CENTRO DA INDÚSTRIA DO ESTADO DO AMAZONAS. **Indicadores Industriais ZFM.** 2021. Disponível em <https://cieam.com.br/ohs/data/docs/1/Apresentacao-Indicadores-Industriais_Dezembro-2020-Site.pdf>. Acesso em 11 Mai. 2021.

- CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS. **Investimento em Indústria 4.0**. 2016. Disponível em <https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/8b/0f/8b0f5599-9794-4b66-ac83-e84a4d118af9/investimentos_em_industria_40_junho2018.pdf>. Acesso em 11 Mai. 2021.
- CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS. **Investimento na Indústria 2020-2021**. 2021. Disponível em <https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/44/b0/44b01acb-c442-4b11-8abc-ca8f7a7e79c2/investimentosnaindustria_2020_2021.pdf>. Acesso em 11 Mai. 2021.
- DAEMMRICH, Arthur. **Invention, innovation systems, and the Fourth Industrial Revolution**. *In: Technology & Innovation*, v. 18, n. 4, p. 257-265, 2017.
- DE CAROLIS, Anna *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, p. 13-20, 2017.
- ELSEVIER. **MEASURING A JOURNAL'S IMPACT**. Disponível em <<https://www.elsevier.com/authors/journal-authors/measuring-a-journals-impact>> . Acesso em 10 ago. 2020.
- ENSSLIN, Sandra; ENSSLIN, Leonardo. **Comportamentos Dos Custos: Seleção De Referencial Teórico E Análise Bibliométrica**. *Revista de Contabilidade do Mestrado em Ciências Contábeis da UERJ*. v. 19, n. 3, p. 02–25, 2014.
- ENSSLIN, Leonardo et al. **IT OUTSOURCING MANAGEMENT: THE STATE OF THE ART RECOGNITION BY A CONSTRUCTIVIST RESEARCH PROCESS AND BIBLIOMETRICS**. *In: Journal of Information Systems and Technology Management*, v. 12, n. 2, p. 371–392, 2015.
- FIGUEIREDO Filho, Dalson Brito e SILVA Júnior, José Alexandre da. **Visão além do alcance: uma introdução à análise fatorial**. *Opinião Pública [online]*. 2010, v. 16, n. 1 [Acessado 26 Julho 2022] , pp. 160-185. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0104-62762010000100007>>. Epub 30 Jul 2010. ISSN 1807-0191. <https://doi.org/10.1590/S0104-62762010000100007>. 2010
- FONSECA, João J.S. **Metodologia da Pesquisa Científica**. Fortaleza: UEC, 2002.
- GHOBAKHLOO, Morteza. **The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0**. *In: Journal of Manufacturing Technology Management*, 2018.
- GIL, Antônio C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 6. Ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- GTAI – GERMANY TRADE & INVEST. **INDUSTRY 4.0 – SMART MANUFACTURING FOR THE FUTURE**. 2014. Disponível em: <<https://www.manufacturing-policy.eng.cam.ac.uk/documents-folder/policies/germany-industrie-4-0-smart-manufacturing-for-the-future-gtai/view>>. Acesso em 3 ago. 2020.

HENSELER, J., RINGLE, C.M. and SINKOVICS, R.R. **The use of partial least squares path modeling in international marketing.** In: [Sinkovics, R.R.](#) and [Ghuri, P.N.](#) (Ed.) *New Challenges to International Marketing (Advances in International Marketing, V. 20)*, Emerald Group Publishing Limited, Bingley, v. 10, p. 277-319. [https://doi.org/10.1108/S1474-7979\(2009\)0000020014](https://doi.org/10.1108/S1474-7979(2009)0000020014), 2019.

IEL – Instituto Euvaldo Lodi. **INDÚSTRIA 2027 – Riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas.** 2018. Disponível em < https://www.researchgate.net/publication/328917921_INDUSTRIA_2027_Riscos_e_oportunidades_para_o_Brasil_diante_de_inovacoes_disruptivas_Sintese_dos_resultados_Volume_1_-_Tecnologias_disruptivas_e_industria_Situacao_atual_e_avaliacao_prospectiva_Volume_1 > . Acesso em 5 mai. 2021.

ITIKAWA, Mauricio; SANTIAGO, Sandro Breval. **A Systematic Review on Industry 4.0 Maturity Metrics in the Manaus Free Trade Zone.** *International journal of advanced engineering research and science*, v. 8, p. 1, 2021

HAIR, Joseph F. *et al.* **Análise Multivariada de Dados.** 5. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

JUNG, Kiwook et al. **An overview of a smart manufacturing system readiness assessment.** In: IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems. Springer, Cham, p. 705-712. 2016.

LAROS, Jacob. O Uso da Análise Fatorial: Algumas Diretrizes para Pesquisadores. In: **Análise Fatorial para Pesquisadores.** LabPAM Saber e Tecnologia, Brasília – DF. p. 163-193. 2012

MATTHIENSEN, Alexandre. **Uso do Coeficiente Alfa de Cronbach em Avaliações por Questionários.** In: *Confiabilidade e Coeficiente Alfa de Cronbach.* Embrapa Roraima, ed. 1, p. 9-10, 2011.

MIOT, Hélio Amante. **Tamanho da amostra em estudos clínicos e experimentais.** *Jornal Vascular Brasileiro* [online]. 2011, v. 10, n. 4 [Acessado 26 Julho 2022] , pp. 275-278. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1677-54492011000400001>>. Epub 12 Abr 2012. ISSN 1677-7301. <https://doi.org/10.1590/S1677-54492011000400001>.

NEVES, Alexandre B. N. **Modelo de equações estruturais: uma introdução aplicada.** Enap, Brasília-DF. 2018.

OLIVEIRA, Selma S. B., CORRÊA, Elourdiê M. **TRABALHO E EDUCAÇÃO: algumas considerações sobre as mudanças no mundo do trabalho e a expansão do ensino superior da rede privada de Manaus/AM.** *Revista de Políticas Públicas.* V. 23, n. 2, 2019.

NASCIMENTO, Carlos H. B. do; MACEDO, Marcelo A. da S. **Structural Equation using Partial Least Squares: na Example of the Application of SmartPLS® in Accounting Research.** *Revista de Educação e Pesquisa em Contabilidade,* Brasília, v. 10, n.3, art. 4, p. 282-305, 2016.

PIMENTA, Alcineide A. *et al.* **A Biliometria nas Pesquisas Acadêmicas.** *In:* Scientia Revista de Ensino, Pesquisa e Extensão. V. 4, n. 7, p. 1–13, 2010.

PwC – PricewaterhouseCoopers. **Pesquisa Global Indústria 4.0:** Relatório Brasil. 2016. Disponível em <https://www.pwc.com.br/pt/publicacoes/servicos/assets/consultoria-negocios/2016/pwc-industry-4-survey-16.pdf>. Acesso em 11 Mai. 2021.

REISCHAUER, Georg. **Industry 4.0 as policy-driven discourse to institutionalize innovation systems in manufacturing.** *In:* Technological Forecasting and Social Change, v. 132, p. 26-33, 2018.

RINGLE, Christian M., SILVA, Dirceu da, BIDO, Diógenes de S. **Modelagem de Equações Estruturais com Utilização do Smartpls.** *In:* Revista Brasileira de Marketing-ReMark. v.13, n.2. DOI: 10.5585/remark.v13i2.2717, 2014

ROOPA S, Rani MS. **Questionnaire Designing for a Survey.** J Ind Orthod Soc; v. 46(4), p. 273-277, 2012.

SANTIAGO, Sandro B. **Medição da interoperabilidade logística com uso do modelo de equações estruturais.** Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, 2017.

SANTIAGO, Sandro B. **Modelo de mediação da maturidade e prontidão da indústria 4.0 do PIM – PIMM40.** BR512019001226-7. Concessão: 25 jun. 2019.

SCHUH, Günther et al. **Industrie 4.0 maturity index.** Managing the digital transformation of companies – UPDATE 2020. *In:* Acatech STUDY. Vol. 28 p. 64, 2020.

SCHUMACHER, Andreas; EROL, Selim; SIHN, Wilfried. **A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises.** *In:* Procedia Cirp, v. 52, p. 161-166, 2016.

SCHUMACHER, Andreas; NEMETH, Tanja; SIHN, Wilfried. **Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises.** *In:* Procedia Cirp, v. 79, p. 409-414, 2019.

SUFRAMA – Superintendência da Zona Franca de Manaus. **Relatório de Resultados.** Lei de Informática aplicada à Amazônia Ocidental. Período 2010-2013. Manaus. 2019. Disponível em < https://www.gov.br/suframa/pt-br/zfm/pesquisa-e-desenvolvimento/copy_of_pesquisa-e-desenvolvimento/relatorio-resultados-cgtec-2010-2013-isbn.pdf>. Acesso em 7 mai. 2021.

SUFRAMA. **Obrigação x Valores Investidos (R\$ milhões).** 2021. Disponível em <https://www.gov.br/suframa/pt-br/zfm/pesquisa-e-desenvolvimento/lei-de-informatica/resultados>. Acesso em 11 Mai. 2021.

SUFRAMA. **Empresas Beneficiárias.** Disponível em < <https://www.gov.br/suframa/pt-br/zfm/pesquisa-e-desenvolvimento/lei-de-informatica/empresas-beneficiarias> > Acesso em 17 Jan. 2022.

WEYER, Stephan *et al.* **Towards industry 4.0** - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. *In: IFAC-PapersOnLine*. v. 28, n.3, p. 579-584, 2015.

WITTENBERG, Carsten. **Cause the trend industry 4. 0 in the automated industry to new requirements on user interfaces?** *In: Springer Verlag*, p. 238–245, 2015.

ZAOUI, Fadwa; SOUISSI, Nissrine. **A triaxial model for the digital maturity diagnosis.** *In: International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, v. 9, n. 1, p. 433–439, 2020.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DE NÍVEL DE MATURIDADE EM INDÚSTRIA 4.0

Pesquisa sobre o nível de maturidade sob as métricas da indústria 4.0 em empresa do Polo Industrial de Manaus.

O questionário a seguir possui a finalidade de obter o nível de maturidade da empresa onde você trabalha sob as métricas da indústria 4.0. Responda cada pergunta a partir da sua percepção quanto aos produtos, processos, estratégia da empresa, logística, modelos de negócios e interoperabilidade (capacidade de integração dos processos da empresa com outros atores da cadeia de valor).

I. PRODUTOS E SERVIÇOS

1. Os processos de manufatura permitem a customização dos produtos para atender a vontade ou necessidade dos clientes (Customização)?

Há produção em lotes determinados pelo PCP, sempre sob a forma de produção em série.

1	2	3	4
---	---	---	---

Os produtos são totalmente customizáveis (características flexíveis, individualização, possibilidade de lote de 1 unidade).

2. Há agregação de valor pela digitalização do produto/serviço (Valor Digital)?

A digitalização do produto não é significativa sob o aspecto de agregação de valor

1	2	3	4
---	---	---	---

O valor do produto está intimamente ligado ao seu valor digital.

3. É possível integrar serviços aos produtos fabricados em sua empresa (Orientação a serviço)?

Não é possível integrar serviços nos produtos

1	2	3	4
---	---	---	---

Os produtos possuem capacidade de integrar serviços digitais

4. Os produtos em campo (no consumidor) produzem dados que são analisados pela empresa (análise e tratamento de dados)?

Não produzem dados

1	2	3	4
---	---	---	---

Possuem componentes de processamento de dados, conectam-se à internet, produzem dados que são recebidos e analisados pela empresa

5. A empresa possui processo de pesquisa de produtos/serviços (fontes de receitas)?

Não há incorporação de serviços aos produtos, que são fontes de receitas diretas

1	2	3	4
---	---	---	---

A incorporação de tecnologias ao produto gerou/gera novas oportunidades de criação de novas fontes de receitas ligadas a produtos (por exemplo: serviço)

II. MANUFATURA E OPERAÇÕES

1. O processo produtivo é automatizado (Controle e automação)?

Manufatura manual ou com algumas máquinas com funcionamento

1	2	3	4
---	---	---	---

Os processos fazem uso de robôs, inclusive colaborativos, a fábrica funciona de forma autônoma, permitindo o seu controle de forma remota

2. Como se dá a comunicação das informações da produção (M2M)?

O operador realiza set-up de máquina manualmente a partir de um plano de produção e os dados de produção são coletados manualmente e digitados em um sistema.

1	2	3	4
---	---	---	---

As máquinas e ferramentas são providos de sensores e atuadores que geram dados pre-processados localmente e estão conectadas a sistemas podendo haver comunicação entre si e com a ERP.

3. Qual o nível de preparação para indústria 4.0 dos processos (Preparação para indústria 4.0)?

Máquinas com baixa tecnologia digital e dependente de operadores que não possuem conhecimento em TI

1	2	3	4
---	---	---	---

Processo automático, inteligente, com comunicação em tempo real entre processos, fornecedores e clientes, com operadores aptos a trabalhar em ambiente digital.

4. Como é realizada alimentação da produção (Transportes Autônomos MP/PA)?

Alimentação totalmente manual com transportadores automáticos entre alguns processos

1	2	3	4
---	---	---	---

Uso de AGV/transportadores/robôs na alimentação das linhas e estoques

5. A manufatura é auto otimizável (Auto-otimização)?

Diagnósticos e análises totalmente dependentes de

1	2	3	4
---	---	---	---

Sistemas são capazes de diagnosticar, resolver ou sugerir solução de problemas ou gargalos

6. Modelagem digital

Os processos são totalmente físicos eventualmente com digitalização interna da máquina

1	2	3	4
---	---	---	---

Os processos físicos possuem um "gêmeo" digital com interface de usuário específica por tarefa, de onde pode-se extrair qualquer informação em tempo real

7. Coleta de dados fabris

Dados de produção são coletados manualmente em formulários em papel, podendo ser digitadas em sistema.

1	2	3	4
---	---	---	---

Dados de produção são coletados pela própria máquina, sensores e atuadores que os encaminha para a ERP.

8. Uso de dados da manufatura

Decisões são tomadas com base em informações coletadas manualmente na produção

1	2	3	4
---	---	---	---

As informações da produção, estoque e demanda são coletadas por sensores e atuadores e pre-processadas automaticamente formando base de dados atualizada para tomada de decisão a qualquer momento

9. Onde são armazenados e processados os dados coletados na produção (Uso de dados da nuvem)?

Dados coletados manualmente em formulários em papel, podendo ou não ser digitados em planilha eletrônica, não havendo necessariamente processamento desses dados

1	2	3	4
---	---	---	---

Dados coletados são carregados automaticamente para processamento na nuvem e disponibilizado em tempo real para acompanhamento ou decisão via remoto.

10. Como são armazenados/processados os dados da manufatura (Segurança TI)?

No computador da produção, no qual qualquer operador da linha tem acesso, podendo inserir dados ou corrigi-los.

1	2	3	4
---	---	---	---

Os dados são armazenados na nuvem, com acesso controlado em níveis para consulta ou edição, sendo que a empresa possui política de acesso e utilização de dados fabris e mesmo os funcionários não ligados a TI conhecem sobre cyber segurança

III. ESTRATÉGIA E ORGANIZAÇÃO

1. É estratégico para a empresa desenvolver a manufatura no sentido de implementar tecnologias afetas à indústria 4.0 (Implementação da indústria 4.0)?

Não está estabelecido plano estratégico para implementação da indústria 4.0

1	2	3	4
---	---	---	---

É estratégico para a empresa a evolução das formas de produção com implementação de tecnologias em sentido à indústria 4.0, relacionando-a às necessidades do cliente possuindo roteiro e coordenação centralizada das atividades

2. Medição da indústria 4.0:

Como não faz parte da estratégia, a implementação de tecnologias voltadas à indústria 4.0 não é acompanhada

1	2	3	4
---	---	---	---

Há indicadores de desempenho para a implementação de tecnologias voltadas à indústria 4.0 e estes são devidamente comunicados, bem como são utilizadas técnicas de gerenciamento ágil dos projetos.

3. Investimentos em Indústria 4.0:

Desconheço da existência de plano e também não há nenhuma implementação de tecnologia afeta à indústria 4.0

1	2	3	4
---	---	---	---

Há plano de investimento para elevação do grau de adequação fabril às características da indústria 4.0 com orçamento e acompanhamento definidos e comunicados

4. Há pessoas comprometidas, que possuem conhecimento e dedicadas à implementação de processos voltados à indústria 4.0 (Capacitação de recursos humanos)?

Não há programa estruturado para a capacitação de RH voltado para áreas afetas à indústria 4.0

1	2	3	4
---	---	---	---

Há treinamento dos funcionários em tecnologias digitais; -regras para os funcionários no ambiente digitais; recrutamento de pessoas qualificadas, os funcionários são abertos para novas tecnologias, mesmo os funcionários não ligados a TI se qualificam para conhecer dados e possuem treinamento contínuo no trabalho

5. Há participação dos departamentos envolvidos direta e indiretamente na evolução tecnológica no sentido da indústria 4.0 (Colaboração dos departamentos)?

Há interligação interdepartamental somente nos dados inseridos na ERP

1	2	3	4
---	---	---	---

Todos os departamentos pertencentes à cadeia produtiva, inclusive os indiretos, estão envolvidos na evolução

6. Há gestão responsável pela implementação das tecnologias voltadas à indústria 4.0 (Apoio Liderança Indústria 4.0)?

A liderança trabalha somente com os dados disponibilizados na ERP e tem pouco envolvimento na evolução digital do

1	2	3	4
---	---	---	---

A liderança está treinada e está disposta a implementar a indústria 4.0. Conhece as competências dos funcionários e define objetivos e metas no grupo de funcionários para tal implementação. Possui abertura para a inovação/mudanças, sendo adepta à tomada de decisão com confiança nos dados coletados a partir de sistemas

7. Os ganhos previstos com a evolução dos processos para a indústria 4.0 foram equacionados diante dos investimentos necessários (ROI custo-benefício)?

Os projetos envolvem automações isoladas em processos e subprocessos

1	2	3	4
---	---	---	---

Haverá ganhos com a implementação das novas tecnologias e estes superam os investimentos necessários.

Há auditoria de risco para a indústria 4.0

IV. CADEIA DE SUPRIMENTOS

1. Qual o período médio de estoque de insumos na fábrica (Estoque Tempo Real)?

Mais do que 1 mês de produção.

1	2	3	4
---	---	---	---

Os insumos são descarregados para o atendimento da produção do momento (just in time)

2. Como é gerenciada a integração da cadeia de valor (SCM integrada)?

Os processos de pedidos, logística *inbound*, alimentação interna de materiais, estoques intermediários, estoques de produto acabado, logística *outbound* e controle de qualidade são autônomos com gerenciamentos isolados

1	2	3	4
---	---	---	---

Toda a cadeia é gerenciada de forma integrada. Os clientes e parceiros estão em rede e possuem abertura para novas tecnologias, possuem competências em TIC com alto grau de digitalização inclusive nos contatos com outros parceiros.

3. Como é a visibilidade da cadeia de valor (SCM visibilidade)?

Cada departamento visualiza o respectivo processo, sendo que a visualização completa da cadeia de valor demanda a manifestação de vários setores da empresa.

1	2	3	4
---	---	---	---

É possível que pessoas com as devidas credenciais acessem o status de qualquer etapa ou a visão geral da cadeia de valor.

4. Diante de necessidades de alteração, como ocorrem os ajustes das operações na cadeia de valor (SCM agilidade)?

Alterações de plano de produção são dolorosas para a empresa e demandam tempo para que todos os envolvidos possam reagir às mudanças.

1	2	3	4
---	---	---	---

Alterações de plano de produção são realizadas de forma rápida e centralizada pela facilidade de visão integrada de todos os processos.

5. Como é gerenciado o lead-time da produção (Lead-time)?

Somente o tempo de entrega é monitorado

1	2	3	4
---	---	---	---

Há monitoramento de "aging" de estoque com foco na diminuição do tempo em que insumos, e produtos acabados em estoque seja minimizado.

V. MODELO DE NEGÓCIO

1. Os negócios da empresa possuem orientação a serviços (Orientação a serviço)?

A empresa somente comercializa os produtos fabricados

1	2	3	4
---	---	---	---

Há investimentos em desenvolvimento de serviços para serem incorporados aos produtos em todas as fases do ciclo de vida

2. As decisões estratégicas da empresa são definidas com base em dados (Decisão com base em dados)?

As decisões são tomadas com base em dados coletados manualmente relativos a determinado período de tempo ou mesmo pelo feeling do gestor

1	2	3	4
---	---	---	---

As decisões são tomadas com base em dados coletados em sistemas atualizados automaticamente, que produzem informações processadas com online.

3. Como a vida do produto é controlada (Ciclo de vida PLM)?

Os dados de produção, comercialização, uso e fim dos produtos são coletados e armazenados de forma independente para a utilização pela engenharia de produtos

1	2	3	4
---	---	---	---

Todas as informações desde a concepção, passando pelo desenvolvimento, testes, produção, armazenamento, comercialização, uso e fim dos produtos são digitalmente controlados e considerados pelas equipes de engenharia.

4. Como funciona a manutenção fabril da empresa (Manutenção preditiva)?

Há predominância de manutenção corretiva das máquinas.

1	2	3	4
---	---	---	---

As máquinas são capazes de gerar autodiagnóstico de situação que implica no comprometimento funcional/eficiência mesmo antes das paradas programadas.

5. Canal de Mkt

A empresa dispõe de canais de relacionamentos independente da fábrica, normalmente se envolve somente com a área administrativa

1	2	3	4
---	---	---	---

O ecossistema negocial é estruturado de forma digital de forma que as áreas relacionadas a desenvolvimento de produtos, produção e logística consigam atender as expectativas do cliente.

6. Qual a função da área de TI na sua empresa (Apoio do TI no negócio)?

Atua na administração dos sistemas de áreas específicas (de pessoal, contábil, permissões, etc)

1	2	3	4
---	---	---	---

Atua no desenvolvimento de produtos e de processos produtivos e na gestão da informação gerada.

VI. INTEROPERABILIDADE

1. Requisitos de contratação para indústria 4.0

Os contratos realizados com fornecedores e clientes não possuem especificação de digitalização

1	2	3	4
---	---	---	---

Os contratos com fornecedores e clientes preveem a necessidade de interconexão de sistemas com finalidade de dar agilidade em todas as esferas da vida do produto ou insumos

2. Como é realizado o abastecimento da linha de produção (Abastecimento das linhas de produção)?

Com base no plano de produção fornecido pelo PCP da empresa.

1	2	3	4
---	---	---	---

Realizado conforme demanda gerada automaticamente pelo sistema que enxerga toda a cadeia produtiva e balanceia a produção em cada etapa do processo entregando insumos ou produtos em sistema *just in time*.

3. Como são tratados os dados (proteção de dados)?

Não há regra estabelecida para as informações.

1	2	3	4
---	---	---	---

A empresa possui política de governança de dados que trata dos dados produzidos e gerenciados internamente, bem como aqueles trocados com fornecedores e clientes.

4. Como são os sistemas (Sistemas ERP, EDI, WMS, VMI)?

A empresa dispõe de ERP para controle do supply chain.

1	2	3	4
---	---	---	---

O sistema é capaz de reabastecer estoques e prever vendas para que os envolvidos numa negociação não tenham rupturas ou perda de vendas - VMI

5. Compartilhamento de informações pela cadeia de valor (compartilhamento SCM)?

As informações são obtidas por meio de telefone ou e-mail

1	2	3	4
---	---	---	---

As informações de produção são compartilhadas com fornecedores e clientes.

APÊNDICE B – RESPOSTAS AO QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DE NÍVEL DE MATURIDADE EM INDÚSTRIA 4.0

(continua)

	1 Produtos e Serviços					2 Manufatura e Operações										3 Estratégia e Organização							4 Cadeia de Suprimentos					5 Modelo de Negócio						6 Interoperabilidade					
	1_Customizacao	2_Valores_digitais	3_Orientacao_a_servico	4_Analise_e_tratamento_de_dados	5_Fontes_Receitas	1_Controle_automacao	2_M2M	3_Preparacao_Ind40	4_Transp_Autonomos_MP_PA	5_Auto_otimização	6_Modelagem_digital	7_Coleta_de_dados_fabris	8_Uso_dados_Manufatura	9_Solucoes_em_Nuvem	10_Seguranca_de_TI	1_Implementacao_Ind40	2_Medicao_da_Ind40	3-Investimentos_Ind40	4_Capitacao_RH	5_Colaboracao_Deptos	6_Apoio_Lideranca_Ind40	7_ROI-Custo_Beneficio	1_Estoque_Tempo_Real	2_Integracao_SCM	3_Visibilidade_SCM	4_Agilidade_SCM	5_Lead_Times	1_Orientacao_a_Servico	2_Decisao_com_base_em_dados	3_Ciclo_de_Vida_PLM	4_Manutencao_Preditiva	5_Canal_de_MKT	6_Negocio_apoio_TI	1_Req_de_contratacao_para_Ind40	2_Abastecimento_LP	3_Protecao_de_dados	4_Sistemas_ERP_EDI_WMS_VMI	5_Compartilhamento_SCM	
1	2	4	4	4	2	2	2	3	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	3	3	2	4	3	3	2	4	3	3	4	1	4	1	4	2	3	2	3	2	3
2	3	3	3	3	3	2	3	2	3	3	2	1	1	3	2	3	4	2	4	3	3	4	4	2	3	1	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3
3	4	3	2	2	1	1	1	1	4	2	1	2	2	2	1	1	2	2	3	3	2	2	2	2	3	3	3	2	1	1	3	2	1	2	2	3	2	2	
4	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	3	1	
5	3	4	3	3	4	3	3	3	3	1	1	2	4	4	1	1	4	2	3	2	2	2	3	3	2	2	3	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	
6	1	2	3	4	2	2	3	1	1	1	1	3	1	2	4	1	1	1	2	2	4	1	3	4	2	3	4	2	3	1	1	4	3	4	2	2	4	4	
7	3	3	1	3	1	1	4	2	1	3	1	4	4	4	1	1	1	2	3	2	1	3	2	2	2	3	2	2	3	3	3	3	4	2	4	3	4	3	
8	1	3	2	4	3	2	2	2	2	2	1	1	3	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	2	3	1	2	1	1	1	1	2	1	2	3	1		
9	3	3	1	3	1	1	4	2	1	3	1	4	4	4	1	1	1	2	3	2	1	4	2	2	2	3	2	2	3	3	3	3	4	2	4	3	4	3	
10	2	4	2	3	3	2	2	1	1	3	2	3	4	3	2	1	1	1	2	3	1	1	4	1	1	4	1	2	2	1	1	4	2	1	1	2	4	3	
11	3	3	1	3	1	1	4	2	1	3	1	4	4	4	1	1	1	2	3	2	1	4	2	2	2	3	2	2	3	3	3	3	4	2	4	3	4	3	
12	3	4	4	3	3	2	2	2	2	3	2	3	4	3	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	2	4	2	3	2	2	2	3		
13	1	4	4	4	4	3	2	3	1	4	1	3	1	3	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	4	3	1	2	2	1	2	3	4	4		
14	2	3	3	3	3	4	3	3	1	1	1	1	4	2	1	1	3	4	1	1	3	3	1	2	2	3	2	3	2	2	1	4	3	2	2	3	3	2	

APÊNDICE B – RESPOSTAS AO QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DE NÍVEL DE MATURIDADE EM INDÚSTRIA 4.0

(conclusão)

	1 Produtos e Serviços					2 Manufatura e Operações										3 Estratégia e Organização							4 Cadeia de Suprimentos					5 Modelo de Negócio						6 Interoperabilidade					
	1_Customizacao	2_Valores_digitais	3_Orientacao_a_servico	4_Analise_e_tratamento_de_dados	5_Fontes_Receitas	1_Controle_automacao	2_M2M	3_Preparacao_Ind40	4_Transp_Autonomos_MP_PA	5_Auto_otimizacao	6_Modelagem_digital	7_Coleta_de_dados_fabris	8_Uso_dados_Manufatura	9_Solucoes_em_Nuvem	10_Seguranca_de_TI	1_Implementacao_Ind40	2_Medicao_da_Ind40	3-Investimentos_Ind40	4_Capacitacao_RH	5_Colaboracao_Deptos	6_Apoio_Lideranca_Ind40	7_ROI-Custo_Beneficio	1_Estoque_Tempo_Real	2_Integracao_SCM	3_Visibilidade_SCM	4_Agilidade_SCM	5_Lead_Times	1_Orientacao_a_Servico	2_Decisao_com_base_em_dados	3_Ciclo_de_Vida_PLM	4_Manutencao_Preditiva	5_Canal_de_MKT	6_Negocio_apoio_TI	1_Req_de_contratacao_para_Ind40	2_Abastecimento_LP	3_Protecao_de_dados	4_Sistemas_ERP_EDI_WMS_VMI	5_Compartilhamento_SCM	
15	4	4	4	4	4	3	3	3	1	3	2	1	1	1	2	3	2	2	4	3	3	3	3	1	3	3	1	3	3	2	1	2	2	1	2	2	3	2	
16	2	3	4	4	2	3	2	3	1	3	2	2	3	2	2	2	2	2	4	2	3	3	2	1	2	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	
17	2	2	2	2	1	3	2	3	2	3	2	1	3	3	2	3	3	3	2	4	3	3	3	2	2	4	3	3	2	2	4	3	4	2	3	2	3		
18	3	4	4	4	4	1	1	1	1	3	2	3	4	1	2	1	1	2	1	3	2	4	3	2	3	2	2	3	2	2	2	4	2	2	2	3	2	3	
19	3	4	4	4	4	4	3	4	4	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	2	3	3	3	3	4	4	3	1	3	4	2	4	3	4	3	4	3		
20	1	4	4	1	4	2	3	1	3	1	1	2	4	4	2	1	1	2	2	3	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	3	2	1	3
21	4	3	2	3	3	2	1	2	1	3	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	2	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	
22	3	4	4	4	4	2	2	2	1	4	2	2	4	4	4	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	1	4	4	4	4	4	4	4	4	
23	4	3	3	4	3	3	2	3	1	3	3	3	2	2	2	3	2	2	3	3	3	3	2	3	3	2	3	3	3	2	2	3	3	2	3	2	2	2	
24	3	4	4	4	3	3	2	3	1	2	2	3	4	4	4	3	3	2	2	4	4	3	2	3	3	3	2	2	3	2	2	4	3	3	2	2	4	3	
25	2	3	3	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	
26	1	3	4	4	4	4	4	2	2	1	3	4	4	4	3	2	3	4	2	3	2	1	1	1	1	1	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
27	2	4	1	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	3	2	2	1	1	1	2	3	3	1	1	2	1	3	3	2	2	2	2	2	2	1	3	2	3	

Fonte: o próprio autor

APÊNDICE C – DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS DO MODELO PIMM4.0

(continua)

Dimensão	Variável Observável	Descrição
Produtos e Serviços	1. Customização	Descreve a flexibilidade da produção de acordo com a vontade do cliente, podendo-se fornecer, no melhor caso, produto em lote unitário.
	2. Valores digitais	O grau de valoração da digitalização do produto ou serviço.
	3. Orientação a serviço	A presença ou a possibilidade de inclusão de serviços digitais embarcados em produtos.
	4. Análise e tratamento de dados	Capacidade de produtos e serviços fornecerem dados à empresa com o fim de utilizá-lo no seu portfólio.
	5. Fontes de receitas	Capacidade de gerar novas fontes de receitas a partir de dados coletados a partir de produtos e serviços digitais.
Manufatura e Operações	1. Controle e Automação	Presença de automação e controle no processo produtivo.
	2. M2M	“Máquina à Máquina” (do inglês “ <i>Machine to Machine</i> ”), trata da capacidade de interconexão entre sensores, atuadores, máquinas e processos produtivos dentro da empresa.
	3. Preparação para indústria 4.0	Estágio da manufatura quanto à preparação para indústria 4.0. Envolve funcionários, máquinas, equipamentos, processos, engenharia.
	4. Transporte autônomos MP/PA	Utilização de transportes autônomos no transporte de matérias primas (e partes e peças) e produtos entre estoques e produção e vice-versa.
	5. Auto-otimização	Capacidade dos sistemas de manufatura de identificar, diagnosticar, resolver ou sugerir solução de problemas ou gargalos de produção.
	6. Modelagem digital	Existência de modelo digital (gêmeo digital) do processo, a partir do qual se obtém em tempo real informações úteis para decisão.
	7. Coleta de dados fabris	Utilização de tecnologia para coleta de dados da fábrica.
	8. Uso de dados manufatura	Retrata se as tomadas de decisão possuem por base os dados/informações coletados na fábrica.
	9. Soluções em nuvem	Armazenamento e processamento de dados na nuvem.
	10. Segurança TI	Os dados, informações e sistemas digitais possuem segurança.
Estratégia e Organização	1. Implementação da Indústria 4.0	A implementação da indústria 4.0 está na estratégia da empresa
	2. Medição da Indústria 4.0	Há indicadores de desempenho da implementação da indústria 4.0 na empresa.
	3. Investimentos em Indústria 4.0	Existência de plano e acompanhamento de investimentos no sentido da implementação da indústria 4.0.
	4. Capacitação RH	Grau de capacitação das pessoas envolvidas com verificação e acompanhamento de competências e habilidades.
	5. Colaboração dos departamentos	Integração dos departamentos.
	6. Apoio da Liderança para indústria 4.0	Envolvimento da liderança nos sentido de promover a transformação digital em todas as dimensões aplicáveis.
	7. ROI – Custo-benefício	Grau de retorno sobre os investimentos realizados no âmbito da implementação da indústria 4.0

APÊNDICE C – DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS DO MODELO PIMM4.0

(conclusão)

Cadeia de Suprimentos	1. Estoque em tempo real	Possibilidade de controle de estoque e logística em tempo real em toda a cadeia.
	2. Integração SCM	Integração da cadeia de suprimentos considerando as ligações de ponta a ponta.
	3. Visibilidade SCM	Poder de visibilidade da cadeia de suprimentos
	4. Agilidade SCM	Grau de agilidade da cadeia de suprimentos
	5. <i>Lead times</i>	Caracteriza o tempo de entrega, tendo por base o ciclo de manufatura, tempo de atravessamento e redução de <i>aging</i> .
Modelo de Negócio	1. Orientação a serviço	Ecosistema de negócio voltado a serviço com possível transição produto serviço
	2. Decisão com base em dados	Grau de utilização de dados para a criação de valor para a empresa e para as decisões do negócio
	3. Ciclo de vida PLM0	Grau de rastreamento do produto desde sua concepção até o descarte
	4. Manutenção preditiva	Indica o nível de automação das paradas de manutenção sob a perspectiva da auto otimização
	5. Canal de MKT	Indica as relações de negócios e estrutura de canais para o mercado.
	6. Apoio TI	Grau de envolvimento da área de TI na criação de valor da empresa.
Interoperabilidade	1. Requisito de Contratação para Indústria 4.0	Descreve se os contratos preveem o atendimento de requisitos voltados a presença de tecnologia, interconectividade para gestão de processo integrada.
	2. Abastecimento da LP	Indica a forma de abastecimento da linha sob a perspectiva da entrega de fornecedores locais e setores internos
	3. Proteção de dados	Grau de proteção de dados da empresa e da rede de relacionamento no ambiente de gestão integrada da cadeia logística.
	4. Sistemas ERP, EDI, WMS, VMI	Compartilhamento de dados e informações na cadeia logística.
	5. Compartilhamento SCM	Grau de compartilhamento de dados na cadeia logística da empresa considerando a geração de informações.

Fonte: O próprio autor com base em Alencar *et al.* (2022, no Prelo)

APÊNDICE D - RELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DE Schumacher et al. (2019) e Azevedo e Santiago (2019)

(Continua)

Schumacher et al. (2019)		PIMM 4.0		Respostas																											
Dimensão	Variável Observável	Dimensão	Variável Observável	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
Dimensão 1 – Tecnologia	Tecnologia para troca de informações	2 Manufatura e Operações	2_M2M	2	3	1	1	3	3	4	2	4	2	4	2	2	3	3	2	2	1	3	3	1	2	2	2	2	4	1	
	Utilização de tecnologia na nuvem	2 Manufatura e Operações	9_Solucoes_em_Nuvem	2	1	2	1	4	2	4	1	4	3	4	3	3	2	1	3	3	1	3	4	2	4	2	4	2	4	3	
	Diespositivos móveis no chão de fábrica	2 Manufatura e Operações	7_Coleta_de_dados_fabris	3	2	1	1	2	3	4	1	4	3	4	3	3	1	1	2	1	3	3	2	1	2	3	3	2	4	1	
	Armazenamento de informações descentralizado	2 Manufatura e Operações	9_Solucoes_em_Nuvem	2	1	2	1	4	2	4	1	4	3	4	3	3	2	1	3	3	1	3	4	2	4	2	4	2	4	3	
	Coleta de dados por sensores	2 Manufatura e Operações	7_Coleta_de_dados_fabris	3	2	1	1	2	3	4	1	4	3	4	3	3	1	1	2	1	3	3	2	1	2	3	3	2	4	1	
	Computadores integrados a máquinas	2 Manufatura e Operações	2_M2M	2	3	1	1	3	3	4	2	4	2	4	2	2	3	3	2	2	1	3	3	1	2	2	2	2	4	1	
	Computadores integrados a ferramentas	2 Manufatura e Operações	2_M2M	2	3	1	1	3	3	4	2	4	2	4	2	2	3	3	2	2	1	3	3	1	2	2	2	2	4	1	
	Manufatura aditiva	2 Manufatura e Operações	6_Modelagem_digital	2	3	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	2	2	2	2	3	1	1	2	3	2	2	3	1
	Uso de robôs	2 Manufatura e Operações	1_Controle_automacao	2	2	1	1	3	2	1	2	1	2	1	2	3	4	3	3	3	3	1	4	2	2	2	3	3	2	4	2
Dimensão 2 – Produtos	Individualização	1 Produtos e Serviços	1_Customizacao	2	3	4	1	3	1	3	1	3	2	3	3	1	2	4	2	2	3	3	1	4	3	4	3	2	1	2	
	Flexibilidade das características do produto	1 Produtos e Serviços	1_Customizacao	2	3	4	1	3	1	3	1	3	2	3	3	1	2	4	2	2	3	3	1	4	3	4	3	2	1	2	
	Coleta das informações de uso de produtos	1 Produtos e Serviços	4_Analise_e_tratamento_de_dados	4	3	2	2	3	4	3	4	3	3	3	3	4	3	4	4	2	4	4	1	3	4	4	4	2	4	3	
	Componentes de processamento de dados em produtos	1 Produtos e Serviços	4_Analise_e_tratamento_de_dados	4	3	2	2	3	4	3	4	3	3	3	3	4	3	4	4	2	4	4	1	3	4	4	4	2	4	3	
	Produtos conectados à internet	1 Produtos e Serviços	4_Analise_e_tratamento_de_dados	4	3	2	2	3	4	3	4	3	3	3	3	4	3	4	4	2	4	4	1	3	4	4	4	2	4	3	
	Compatibilidade e interoperabilidade digitais	1 Produtos e Serviços	3_Orientacao_a_servico	4	3	2	1	3	3	1	2	1	2	1	4	4	3	4	4	2	4	4	4	2	4	3	4	3	4	1	
	Serviços digitais relacionados a produtos físicos	1 Produtos e Serviços	3_Orientacao_a_servico	4	3	2	1	3	3	1	2	1	2	1	4	4	3	4	4	2	4	4	4	2	4	3	4	3	4	1	

APÊNDICE D - RELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DE Schumacher et al. (2019) e Azevedo e Santiago (2019)

(Continua)

Schumacher et al. (2019)		PIMM 4.0		Respostas																										
Dimensão	Variável Observável	Dimensão	Variável Observável	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Dimensão 3 – Clientes e Parceiros	Abertura para novas tecnologias	4 Cadeia de Suprimentos	2_Integracao_SCM	3	4	2	2	3	4	2	1	2	1	2	3	2	2	3	2	3	3	3	1	2	3	2	3	3	1	1
	Competências em TIC moderna	4 Cadeia de Suprimentos	2_Integracao_SCM	3	4	2	2	3	4	2	1	2	1	2	3	2	2	3	2	3	3	3	1	2	3	2	3	3	1	1
	Digitalização do contato com cliente	4 Cadeia de Suprimentos	2_Integracao_SCM	3	4	2	2	3	4	2	1	2	1	2	3	2	2	3	2	3	3	3	1	2	3	2	3	3	1	1
	Integração do cliente no desenvolvimento de produtos																													
	Uso de dados do cliente	1 Produtos e Serviços	4_Analise_e_tratamento_de_dados	4	3	2	2	3	4	3	4	3	3	3	3	4	3	4	4	2	4	4	1	3	4	4	4	2	4	3
	Colaboração da área de TI no desenvolvimento de produto	5 Modelo de Negócio	6_Negocio_apoio_TI	1	2	2	1	3	3	4	1	4	2	4	2	2	3	2	2	3	4	4	2	2	4	3	3	3	1	2
	Contato digital com parceiros da empresa	4 Cadeia de Suprimentos	2_Integracao_SCM	3	4	2	2	3	4	2	1	2	1	2	3	2	2	3	2	3	3	3	1	2	3	2	3	3	1	1
	Grau de digitalização dos parceiros da empresa	4 Cadeia de Suprimentos	2_Integracao_SCM	3	4	2	2	3	4	2	1	2	1	2	3	2	2	3	2	3	3	3	1	2	3	2	3	3	1	1
Dimensão 4 - Processo de criação de valor	Automação do processo de criação de valor	2 Manufatura e Operações	5_Auto_otimização	2	3	2	1	1	1	3	2	3	3	3	3	4	1	3	3	3	3	3	1	3	4	3	2	1	1	1
	Autonomia do parque de máquinas	2 Manufatura e Operações	1_Control_e_automacao	2	2	1	1	3	2	1	2	1	2	1	2	3	4	3	3	3	1	4	2	2	2	3	3	2	4	2
	Troca de informações entre máquinas	2 Manufatura e Operações	2_M2M	2	3	1	1	3	3	4	2	4	2	4	2	2	3	3	2	2	1	3	3	1	2	2	2	2	4	1
	Controle remoto do parque de máquinas	2 Manufatura e Operações	1_Control_e_automacao	2	2	1	1	3	2	1	2	1	2	1	2	3	4	3	3	3	1	4	2	2	2	3	3	2	4	2
	Controle de qualidade automático	2 Manufatura e Operações	1_Control_e_automacao	2	2	1	1	3	2	1	2	1	2	1	2	3	4	3	3	3	1	4	2	2	2	3	3	2	4	2
	Manutenção das máquinas com base em dados	5 Modelo de Negócio	4_Manutencao_Preditiva	1	2	1	1	3	1	3	1	3	1	3	2	1	1	2	1	2	2	4	1	1	1	2	2	3	1	2
	Manuseios automatizados	2 Manufatura e Operações	1_Control_e_automacao	2	2	1	1	3	2	1	2	1	2	1	2	3	4	3	3	3	1	4	2	2	2	3	3	2	4	2
	Uso de robôs colaborativos	2 Manufatura e Operações	1_Control_e_automacao	2	2	1	1	3	2	1	2	1	2	1	2	3	4	3	3	3	1	4	2	2	2	3	3	2	4	2

APÊNDICE D - RELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DE Schumacher et al. (2019) e Azevedo e Santiago (2019)

(Continua)

Schumacher et al. (2019)		PIMM 4.0		Respostas																										
Dimensão	Variável Observável	Dimensão	Variável Observável	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Dimensão 5 - Dados e informações	Processos com informações digitais	2 Manufatura e Operações	8_Uso_dados_Manufatura	3	1	2	1	4	1	4	3	4	4	4	4	1	4	1	3	3	4	3	4	2	4	3	4	2	4	1
	Coleta de dados automática	2 Manufatura e Operações	7_Coleta_de_dados_fabris	3	2	1	1	2	3	4	1	4	3	4	3	3	1	1	2	1	3	3	2	1	2	3	3	2	4	1
	Análise dos dados coletados	2 Manufatura e Operações	8_Uso_dados_Manufatura	3	1	2	1	4	1	4	3	4	4	4	4	1	4	1	3	3	4	3	4	2	4	3	4	2	4	1
	Tomada de decisão com base em dados	2 Manufatura e Operações	8_Uso_dados_Manufatura	3	1	2	1	4	1	4	3	4	4	4	4	1	4	1	3	3	4	3	4	2	4	3	4	2	4	1
	Fornecimento de dados automatizado	2 Manufatura e Operações	7_Coleta_de_dados_fabris	3	2	1	1	2	3	4	1	4	3	4	3	3	1	1	2	1	3	3	2	1	2	3	3	2	4	1
	Fornecimento de informação individualizada	2 Manufatura e Operações	8_Uso_dados_Manufatura	3	1	2	1	4	1	4	3	4	4	4	4	1	4	1	3	3	4	3	4	2	4	3	4	2	4	1
	Visualização do processo digital	2 Manufatura e Operações	6_Modelagem_digital	2	3	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	2	2	2	2	3	1	1	2	3	2	2	3	1
	Simulação de cenários futuros por meio de software	2 Manufatura e Operações	8_Uso_dados_Manufatura	3	1	2	1	4	1	4	3	4	4	4	4	1	4	1	3	3	4	3	4	2	4	3	4	2	4	1
Dimensão 6 – Padrões corporativos	Monitoramento da implementação da indústria 4.0	3 Estratégia e Organização	2_Medicao_da_Ind40	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	2	3	1	3	1	1	3	3	3	1	3	1
	Padrões de tecnologia	2 Manufatura e Operações	6_Modelagem_digital	2	3	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	2	2	2	3	1	1	2	3	2	2	3	1	
	Recrutamento para indústria 4.0	3 Estratégia e Organização	4_Capacitacao_RH	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	3	2	1	2	2	3	1	3	2	2	3	2	2	2	2	1
	Ajuste dos arranjos de trabalho	3 Estratégia e Organização	4_Capacitacao_RH	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	3	2	1	2	2	3	1	3	2	2	3	2	2	2	2	1
	Treinamento de funcionários para competências digitais	3 Estratégia e Organização	4_Capacitacao_RH	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	3	2	1	2	2	3	1	3	2	2	3	2	2	2	2	1
	Proteção legal de dados para produtos e serviços digitais	2 Manufatura e Operações	10_Seguranca_de_TI	2	3	2	1	4	4	4	2	4	2	4	3	2	1	1	2	3	2	4	2	2	4	2	4	2	3	2
	Cyber segurança	2 Manufatura e Operações	10_Seguranca_de_TI	2	3	2	1	4	4	4	2	4	2	4	3	2	1	1	2	3	2	4	2	2	4	2	4	2	3	2
	Regras para empregados no ambiente de trabalho digital	3 Estratégia e Organização	4_Capacitacao_RH	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	3	2	1	2	2	3	1	3	2	2	3	2	2	2	2	1

APÊNDICE D - RELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DE Schumacher et al. (2019) e Azevedo e Santiago (2019)

(Continua)

Schumacher et al. (2019)		PIMM 4.0		Respostas																										
Dimensão	Variável Observável	Dimensão	Variável Observável	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Dimensão 7 – Empregados (9 itens)	Abertura para novas tecnologias	3 Estratégia e Organização	4_Capacidadeo_RH	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	3	2	1	2	2	3	1	3	2	2	3	2	2	2	2	1
	Competências em TIC	3 Estratégia e Organização	4_Capacidadeo_RH	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	3	2	1	2	2	3	1	3	2	2	3	2	2	2	2	1
	Conhecimento em dados por funcionários não ligados à área de TI	3 Estratégia e Organização	4_Capacidadeo_RH	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	3	2	1	2	2	3	1	3	2	2	3	2	2	2	2	1
	Conhecimento em cyber segurança por funcionários não ligados à área de TI	2 Manufatura e Operações	10_Seguranca_de_TI	2	3	2	1	4	4	4	2	4	2	4	3	2	1	1	2	3	2	4	2	2	4	2	4	2	3	2
	Disponibilidade para arranjos de trabalho flexíveis	3 Estratégia e Organização	4_Capacidadeo_RH	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	3	2	1	2	2	3	1	3	2	2	3	2	2	2	2	1
	Autonomia dos funcionários do chão de fábrica	3 Estratégia e Organização	4_Capacidadeo_RH	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	3	2	1	2	2	3	1	3	2	2	3	2	2	2	2	1
	Experiência em trabalhos multidisciplinares	3 Estratégia e Organização	4_Capacidadeo_RH	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	3	2	1	2	2	3	1	3	2	2	3	2	2	2	2	1
	Disponibilidade para treinamento contínuo no trabalho	3 Estratégia e Organização	4_Capacidadeo_RH	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	3	2	1	2	2	3	1	3	2	2	3	2	2	2	2	1
	Conhecimento das competências dos funcionários	3 Estratégia e Organização	6_Apoio_Lideranca_Ind40	3	3	3	1	2	4	2	2	2	1	2	3	2	3	3	2	4	2	2	1	1	3	3	4	2	2	3
Dimensão 8 – Estratégia e Liderança	Plano de implementação da indústria 4.0	3 Estratégia e Organização	1_Implementacao_Ind40	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	1	4	1	1	2	2	3	1	2	2
	Coordenação central das atividades relacionadas à indústria 4.0	3 Estratégia e Organização	1_Implementacao_Ind40	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	1	4	1	1	2	2	3	1	2	2
	Recursos financeiros para a implementação da indústria 4.0	3 Estratégia e Organização	3-Investimentos_Ind40	2	4	2	1	4	1	1	2	1	1	1	2	1	4	2	2	3	2	3	2	2	3	2	2	4	1	
	Comunicação sobre as atividades relacionadas à indústria 4.0	3 Estratégia e Organização	2_Medicao_da_Ind40	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	2	3	1	3	1	1	3	3	3	1	3	1
	Objetivos dos funcionários na implementação da indústria 4.0	3 Estratégia e Organização	4_Capacidadeo_RH	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	3	2	1	2	2	3	1	3	2	2	3	2	2	2	2	1

APÊNDICE D - RELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DE Schumacher et al. (2019) e Azevedo e Santiago (2019)

(Conclusão)

Schumacher et al. (2019)		PIMM 4.0		Respostas																										
Dimensão	Variável Observável	Dimensão	Variável Observável	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Dimensão 8 – Estratégia e Liderança	Auditoria de risco para indústria 4.0	3 Estratégia e Organização	7_ROI-Custo_Beneficio	2	3	2	1	2	1	1	1	1	1	1	3	2	3	3	3	3	4	3	1	1	3	3	3	2	1	3
	Disposição da gerência para a implementação da indústria 4.0	3 Estratégia e Organização	6_Apoio_Lideranca_Ind40	3	3	3	1	2	4	2	2	2	1	2	3	2	3	3	2	4	2	2	1	1	3	3	4	2	2	3
	Treinamento da liderança para indústria 4.0	3 Estratégia e Organização	6_Apoio_Lideranca_Ind40	3	3	3	1	2	4	2	2	2	1	2	3	2	3	3	2	4	2	2	1	1	3	3	4	2	2	3

Fonte: o próprio autor com base em Schumacher et al. (2019) e Azevedo e Santiago (2019)

APÊNDICE E - RELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DE Schuh et al. (2020) e Azevedo e Santiago (2019)

(Continua)

ACATECH			PIMM4.0		RESPOSTAS																											
Áreas Estruturais	Princípios (Dimensões)	Variáveis Observáveis	Dimensões	Variáveis Observáveis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
RECURSOS	Capabilidade Digital	Providencia competências digitais	3 Estratégia e Organização	4_Capacitacao_RH	3	3	3	1	3	3	3	3	3	3	3	4	3	1	3	3	4	1	4	3	3	4	3	3	3	3	1	
		Coleta de dados por sensores e atuadores	2 Manufatura e Operações	7_Coleta_de_dados_fabris	4	3	1	1	3	4	6	1	6	4	6	4	4	1	1	3	1	4	4	3	1	3	4	4	3	6	1	
		Pré-processamento de dados descentralizado	2 Manufatura e Operações	7_Coleta_de_dados_fabris	4	3	1	1	3	4	6	1	6	4	6	4	4	1	1	3	1	4	4	3	1	3	4	4	3	6	1	
	Comunicação estruturada	Comunicação eficiente	2 Manufatura e Operações	2_M2M	3	4	1	1	4	4	6	3	6	3	6	3	3	4	4	3	3	1	4	4	1	3	3	3	3	6	1	
		Design de interface baseado em tarefas	5 Modelo de Negócio	6_Negocio_apoio_TI	1	3	3	1	4	4	6	1	6	3	6	3	3	4	3	3	4	6	6	3	3	6	4	4	4	1	3	
SISTEMAS DE INFORMAÇÃO	Processamento de informação com autoaprendizagem	Análise de dados automática	2 Manufatura e Operações	8_Uso_dados_Manufatura	4	1	3	1	6	1	6	4	6	6	6	6	1	6	1	4	4	6	4	6	3	6	4	6	3	6	1	
		Entrega de dados contextualizados	2 Manufatura e Operações	2_M2M	3	4	1	1	4	4	6	3	6	3	6	3	3	4	4	3	3	1	4	4	1	3	3	3	3	6	1	
		Interfaces de usuários específicas por tarefa	2 Manufatura e Operações	6_Modelagem_digital	3	4	3	1	1	1	1	1	1	3	1	3	1	1	3	3	3	3	3	4	1	1	3	4	3	3	4	1
	Integração dos sistemas de informação	Integração vertical e horizontal dos sistemas de informação	6 Interoperabilidade	5_Compartilhamento_SCM	4	4	3	1	4	6	4	1	4	4	4	4	6	3	3	3	4	4	4	4	4	6	3	4	4	1	4	
		Padronização das interfaces de dados	2 Manufatura e Operações	6_Modelagem_digital	3	4	3	1	1	1	1	1	1	3	1	3	1	1	3	3	3	3	3	4	1	1	3	4	3	3	4	1
		Implementação da governança de dados	6 Interoperabilidade	3_Protecao_de_dados	4	4	3	1	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4	3	3	4	4	4	4	3	3	6	4	3	4	1	4
		Segurança de TI Atualizada	2 Manufatura e Operações	10_Seguranca_de_TI	3	4	3	1	6	6	6	3	6	3	6	4	3	1	1	3	4	3	6	3	3	6	3	6	3	4	3	

APÊNDICE E - RELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DE Schuh et al. (2020) e Azevedo e Santiago (2019)

(conclusão)

ACATECH			PIMM4.0		RESPOSTAS																										
Áreas Estruturais	Princípios (Dimensões)	Variáveis Observáveis	Dimensões	Variáveis Observáveis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
ESTRUTURA ORGANIZACIONAL	Estrutura organizacional	Comunidades flexíveis	3 Estratégia e Organização	4_Capacitacao_RH	3	3	3	1	3	3	3	3	3	3	3	4	3	1	3	3	4	1	4	3	3	4	3	3	3	3	1
		Gerenciamento de direitos de decisão	3 Estratégia e Organização	6_Apoio_Lideranca_Ind40	4	4	4	1	3	6	3	3	3	1	3	4	3	4	4	3	6	3	3	1	1	4	4	6	3	3	4
		Sistemas de metas motivacional	3 Estratégia e Organização	6_Apoio_Lideranca_Ind40	4	4	4	1	3	6	3	3	3	1	3	4	3	4	4	3	6	3	3	1	1	4	4	6	3	3	4
		Gerenciamento ágil	3 Estratégia e Organização	1_Implementacao_Ind40	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	3	3	3	1	6	1	1	3	3	4	1	3
	Colaboração dinâmica na rede de valor	Foco no benefício do cliente	3 Estratégia e Organização	1_Implementacao_Ind40	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	3	3	3	1	6	1	1	3	3	4	1	3	3
		Cooperação dentro da rede	4 Cadeia de Suprimentos	2_Integracao_SCM	4	6	3	3	4	6	3	1	3	1	3	4	3	3	4	3	4	4	4	1	3	4	3	4	4	1	1
CULTURA	Disposição para mudança	Reconhecer o valor do erro	3 Estratégia e Organização	6_Apoio_Lideranca_Ind40	4	4	4	1	3	6	3	3	3	1	3	4	3	4	4	3	6	3	3	1	1	4	4	6	3	3	4
		Abertura para inovação	3 Estratégia e Organização	6_Apoio_Lideranca_Ind40	4	4	4	1	3	6	3	3	3	1	3	4	3	4	4	3	6	3	3	1	1	4	4	6	3	3	4
		Aprendizado e tomada de decisão baseados em dados	5 Modelo de Negócio	2_Decisao_com_base_em_dados	4	4	3	1	3	4	3	3	3	3	3	4	6	3	4	3	4	4	1	3	1	6	4	4	4	4	3
		Desenvolvimento profissional contínuo	3 Estratégia e Organização	4_Capacitacao_RH	3	3	3	1	3	3	3	3	3	3	3	4	3	1	3	3	4	1	4	3	3	4	3	3	3	3	1
		Mudança de forma	3 Estratégia e Organização	6_Apoio_Lideranca_Ind40	4	4	4	1	3	6	3	3	3	1	3	4	3	4	4	3	6	3	3	1	1	4	4	6	3	3	4
	Colaboração social	Estilo de liderança democrático	3 Estratégia e Organização	6_Apoio_Lideranca_Ind40	4	4	4	1	3	6	3	3	3	1	3	4	3	4	4	3	6	3	3	1	1	4	4	6	3	3	4
		Comunicação aberta	3 Estratégia e Organização	6_Apoio_Lideranca_Ind40	4	4	4	1	3	6	3	3	3	1	3	4	3	4	4	3	6	3	3	1	1	4	4	6	3	3	4
		Confiança nos processos e sistemas de informação	5 Modelo de Negócio	2_Decisao_com_base_em_dados	4	4	3	1	3	4	3	3	3	3	3	4	6	3	4	3	4	4	1	3	1	6	4	4	4	4	3

ANEXO A: TABELA PARA CLASSIFICAÇÃO DA EMPRESA CONFORME PORTARIA Nº 2.091/2018 (BRASIL, 2018b)

(continua)

Estágio de Maturidade 4.0 (ACATECH)	Classificação: Identificação do estágio inicial	SIM	NÃO
1	<p>Há algum registro digital do processo ou subprocesso?</p> <p>Questões de apoio: Sua empresa utiliza computadores para alguma função na produção ou processo de transformação, tais como: a) anota e acompanha dados / parâmetros de produção? b) anota e acompanha dados da produção (quantidade, volume, etc.)? c) anota e acompanha dados sobre a qualidade da produção? d) anota e acompanha dados dos materiais de entrada? e) anota e acompanha algum dado pertinente relacionado a manutenção das máquinas? e) anota e acompanha algum dado relacionados a relação entre funcionários e a operação executada? f) anota e acompanha dados sobre distribuição e venda dos produtos?</p>		
2	<p>As informações digitais são transmitidas automaticamente ao longo do processo de forma automática?</p> <p>Questões de apoio: a) Os dados anotados em um determinado computador alocado na produção podem ser observados em algum outro computador na empresa? b) Os dados / parâmetros de funcionamento das máquinas e do processo anotados em algum computador, podem ser observados em algum outro computador em outra localidade da fábrica? c) Os dados de algum ponto do processo de transformação/produção anotados em algum computador podem ser monitorados em algum outro computador do processo de transformação, à frente ou atrás na linha de produção?</p>		

ANEXO A: TABELA PARA CLASSIFICAÇÃO DA EMPRESA CONFORME PORTARIA Nº 2.091/2018 (BRASIL, 2018b)

(continua)

Estágio de Maturidade 4.0 (ACATECH)	Classificação: Identificação do estágio inicial	SIM	NÃO
3	<p>Existe interface (conexão) do processo ou subprocesso com algum sistema de gestão do processo ou subprocesso em tempo real na qual seja possível monitorar algum indicador-chave de desempenho?</p> <p>a) Os dados anotados e armazenados em algum computador da linha de produção e/ou processo de transformação são utilizados em algum outro lugar para algum tipo de tomada de decisão?</p> <p>b) Os dados / parâmetros de funcionamento das máquinas e do processo de transformação anotados em algum computador podem ser utilizados em algum outro computador e por algum programa de computador em outra localidade da fábrica para alguma tomada de decisão? Exemplo: manutenção da máquina, hora de comprar mais matéria prima, hora de diminuir a velocidade de produção, etc.?</p> <p>c) Os dados / parâmetros de funcionamento das máquinas e do processo de transformação anotados em algum computador são transformados em gráficos de acompanhamento de produção?</p> <p>d) Existe algum tipo de monitoramento por sensores em tempo real do processo?</p> <p>e) Você consegue por sensoriamento observar os fenômenos do processo de transformação?</p>		
4	<p>O processo ou subprocesso e seu sistema de controle, monitoração e atuação é capaz de gerar algum tipo de relações de causa e efeito, das variáveis envolvidas com a qualidade e produtividade do produto ou dos bens/serviços sendo produzidos?</p> <p>Questões de apoio;</p> <p>a) O seu sistema / subsistema do seu processo de transformação verifica ou inspeciona a qualidade de saída de cada subprocesso?</p> <p>b) É monitorada e controlada a evolução e a tendência do nível de qualidade de cada saída de cada subprocesso?</p> <p>c) Você consegue por sensoriamento observar os fenômenos e avaliar qualidade da saída do processo de transformação?</p> <p>d) O sistema / subsistema do processo de transformação pelo sensoriamento existente consegue relacionar a qualidade de saída do processo com as variáveis do processo ou subprocesso de transformação?</p> <p>e) O sistema de sensoriamento é capaz de interpretar e traduzir os dados do processo ou subprocesso em alguma informação para tomada de decisão?</p>		

ANEXO A: TABELA PARA CLASSIFICAÇÃO DA EMPRESA CONFORME PORTARIA Nº 2.091/2018 (BRASIL, 2018b)

Estágio de Maturidade 4.0 (ACATECH)	Classificação: Identificação do estágio inicial	(conclusão)	
		SIM	NÃO
5	<p>As relações de causa e efeito são utilizadas para gerar ou simular cenários futuros em tempo real?</p> <p>Questões de apoio:</p> <p>a) Os dados do processo de inspeção de qualidade da saída de seu subprocesso são interpretados por algum programa de computador?</p> <p>b) Os dados do processo de monitoração de velocidade da saída do subprocesso são interpretados por algum programa de computador?</p> <p>c) Os dados de entrada e saída do processo ou do subprocesso são cruzados e analisados por algum programa de computador?</p> <p>d) A partir dos dados de entrada e saída, o sistema de controle do processo / subprocesso é capaz de relacionar os defeitos às suas causas?</p> <p>e) A partir dos dados de entrada e saída, o sistema de controle do processo / subprocesso é capaz de informar ao operador como deve-se proceder, ou seja, que parâmetros deve-se alterar para que a saída volte aos patamares de qualidade pré-definidos?</p>		
6	<p>O processo ou subprocesso e seu sistema de controle, monitoração e atuação é capaz de corrigir ou otimizar o processo produtivo conforme cenários simulados?</p> <p>a) A partir dos dados de entrada e saída, o sistema de controle do processo ou subprocesso é capaz de relacionar os defeitos às suas causas e é capaz de atuar sobre os controles dos equipamentos do processo ou subprocesso de transformação corrigindo de forma autônoma qualidade de saída do processo/subprocesso?</p> <p>b) A partir dos dados de entrada e saída, o sistema de controle do processo ou subprocesso é capaz de relacionar os defeitos às suas causas e é capaz de atuar sobre os controles dos equipamentos do processo/subprocesso de transformação corrigindo de forma autônoma a velocidade de saída do processo/subprocesso?</p> <p>c) A partir dos dados de entrada e saída, o sistema de controle do processo ou subprocesso é capaz de relacionar os defeitos às suas causas e é capaz de atuar sobre os controles dos equipamentos do processo ou subprocesso de transformação corrigindo de forma autônoma as variáveis/parâmetros de entrada do processo?</p> <p>d) O processo ou subprocesso é capaz de operar sem nenhum operador, e corrigindo em tempo real todas oscilações da produção?</p>		

Se a resposta para:

- a) 1 é SIM e para 2 é NÃO: estágio de maturidade inicial é 1;
- b) 1 e 2 são SIM e 3 é NÃO: estágio de maturidade inicial é 2;
- c) 1, 2 e 3 são SIM e 4 é NÃO: estágio de maturidade inicial é 3;
- d) 1, 2, 3 e 4 são SIM e 5 é NÃO: estágio de maturidade inicial é 4;
- e) 1, 2, 3, 4 e 5 são SIM e 6 é NÃO: estágio de maturidade inicial é 5; e
- f) 1, 2, 3, 4, 5 e 6 são SIM: estágio de maturidade inicial é 6.