

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE
TECNOLOGIAS**

WILLIAM FLAVIO FRANCO

**MODELO PARA INTRODUÇÃO DE NOVAS
TECNOLOGIAS EM PROCESSOS INDUSTRIAIS NO
CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0**

CAMPINAS

2020

WILLIAM FLAVIO FRANCO

**MODELO PARA INTRODUÇÃO DE NOVAS
TECNOLOGIAS EM PROCESSOS INDUSTRIAIS NO
CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0**

Dissertação realizada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Gestão de Redes de Telecomunicações.

Orientador: Prof. Dr. FRANK HERMAN
BEHRENS

PUC-CAMPINAS

2020

Ficha catalográfica elaborada por Fabiana Rizzioli Pires CRB 8/6920
Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI - PUC-Campinas

658.406
F825m

Franco, William Flávio

Modelo para introdução de novas tecnologias em processos industriais no contexto da indústria 4.0 / William Flávio Franco. - Campinas: PUC-Campinas, 2020.

120 f.: il.

Orientador: Frank Herman Behrens .

Dissertação (Mestrado em Gestão de Redes de Telecomunicações) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2020.

Inclui bibliografia.

1. Inovações tecnológicas - Administração. 2. Tecnologia - Indústrias. 3. Gestão da qualidade total. I. Behrens , Frank Herman. II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD - 22. ed. 658.406

WILLIAM FLAVIO FRANCO


**MODELO PARA INTRODUÇÃO DE NOVAS
TECNOLOGIAS EM PROCESSOS INDUSTRIAIS NO
CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0**

Dissertação apresentada como exigência para obtenção do título de Mestre em Gestão de Redes de Telecomunicações ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias.
Área de Concentração: Engenharia Elétrica. Orientador: Prof. Dr. Frank Herman Behrens

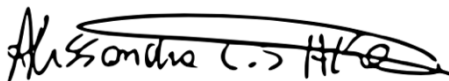
Dissertação defendida e aprovada em 04 de dezembro de 2020 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:



Prof. Dr. Frank Herman Behrens
Orientador da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Profa. Dra. Cecilia de Freitas Morais
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Profa. Dra. Alessandra Cristina Santos Akkari
Universidade Presbiteriana Mackenzie

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer aos amigos e companheiros especialistas técnicos que me ajudaram a testar as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, contribuindo pelo desenvolvimento dessa pesquisa. Agradeço também a todos os participantes do Grupo WF da Indústria 4.0 que trouxeram as principais oportunidades a serem exploradas no contexto da Indústria 4.0.

Ao professor Dr. Frank Herman Behrens,
Incentivador e orientador no desenvolvimento desse trabalho de Mestrado no Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, pelo apoio, colaboração e amizade.

A minha gestora Angela Pinhati,
Que me apoiou, incentivou e patrocinou todas as iniciativas realizadas nessa pesquisa para assim construirmos juntos o desenvolvimento de projetos e aplicação das novas tecnologias em nosso dia a dia de fábrica, colocando nossa empresa em uma posição de destaque e vanguarda em inovação.

A minha esposa Karina Rodrigues,
Incentivadora que me auxiliou e se dedicou estando ao meu lado em todos os momentos para que esse sonho se tornasse realidade.

“O impossível existe até que alguém
duvide dele e prove o contrário”.

Albert Einstein
(1879 -1955)

RESUMO

Nos últimos anos, o desenvolvimento e a aplicação de novas tecnologias têm mudado vários setores econômicos do mundo. As empresas de tecnologia desbancam as empresas de petróleo e tornam-se as empresas mais valiosas do mundo. Nesse contexto, o tema sobre possibilidades de utilização dessas novas tecnologias tem ganhado destaque e sua introdução nos processos atuais de produção certamente transformará os resultados da indústria tradicional, elevando-a para um novo patamar de produtividade. Essa transformação está sendo discutida em todo o mundo e é conhecida como Indústria 4.0. As fábricas cada vez mais inteligentes, fazendo uso de Sistemas Ciber-físicos (*Cyber-physical systems* - CPS), são capazes de monitorar em tempo real todos os dispositivos e munidas de novas tecnologias conectadas dispõem de ferramentas que habilitam um "Gêmeo Virtual" unindo o mundo físico ao mundo virtual. A Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) que conecta pessoas, objetos e máquinas em tempo real; a Computação em Nuvem (*Cloud Computing*) que oferece soluções facilmente escaláveis de processamento, armazenagem e gestão da informação; a Manufatura Aditiva (*3D Printing*) que permite a flexibilidade e novas formas de solução, são algumas dessas novas tecnologias. No entanto, ainda existem muitas dúvidas de como integrar essas tecnologias e obter os benefícios reais da Indústria 4.0. Diante deste contexto, o presente trabalho tem o objetivo de propor um Modelo para Introdução de Novas Tecnologias em Processos Industriais no Contexto da Indústria 4.0, reunindo os princípios, as tecnologias habilitadoras, os benefícios e os níveis de maturidade dessa nova indústria. Resultados bem-sucedidos da utilização do modelo proposto, em casos reais, são apresentados e discutidos, com o objetivo de ajudar profissionais a desenvolverem seus projetos para aumentarem a produtividade nas empresas que trabalham.

Palavras-Chaves: Indústria 4.0; Ferramentas de Gestão; Tecnologias Habilitadoras

ABSTRACT

In recent years, the development and application of new technologies has changed several economic sectors in the world. Technology companies outnumber oil companies and become the most valuable companies in the world. In this context, the topic of possibilities for using these new technologies has gained prominence and its introduction in the current production processes will certainly transform the results of the traditional industry, raising it to a new level of productivity. This transformation is being discussed around the world and is known as Industry 4.0. The factories that are increasingly intelligent, making use of Cyber-physical Systems (CPS), are able to monitor in real time all devices and equipped with new connected technologies have tools that enable a “Virtual Twin” joining the physical world to the virtual world. The Internet of Things (Internet of Things - IoT) that connects people, objects and machines in real time; Cloud Computing, which offers easily scalable solutions for processing, storing and managing information; Additive Manufacturing (3D Printing), which allows flexibility and new solutions, are some of these new technologies. However, there are still many questions about how to integrate these technologies and get the real benefits of Industry 4.0. In this context, the present work aims to propose a Model for the Introduction of New Technologies in Industrial Processes in the Context of Industry 4.0, bringing together the principles, enabling technologies, benefits and maturity levels of this new industry. Successful results of using the proposed model, in real cases, are presented and discussed, with the aim of helping professionals to develop their projects to increase productivity in the companies they work for.

Key words: *Industry 4.0; Management tools; Enabling Technologies*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama Estrutural do Trabalho.....	20
Figura 2 – As Quatro Revoluções Industriais.....	22
Figura 3 – Pesquisa Compra Online Consumidores.....	31
Figura 4 – Impacto da Velocidade de Ação em um Evento de Fábrica.....	33
Figura 5 – Elementos Tecnológicos da I4.0 Aceleraram o Processo de Decisão e Ação na Solução de Eventos de Fábrica.....	35
Figura 6 – As Tecnologias Habilitadoras da I4.0	41
Figura 7 – Níveis de Maturidade da I4.0 segundo a ACATECH.....	49
Figura 8 – Grupo WF da I4.0 no Telegram	59
Figura 9 – Materiais que compõem o produto	61
Figura 10 – Layout da linha (G#03).....	62
Figura 11 – Classificação das Atividades do Postos de Trabalho.....	64
Figura 12 – Fluxo e Postos de Trabalho (G#03).....	65
Figura 13 – Fluxo de etapas do processo de envase do produto.....	66
Figura 14 – Laboratório I4.0	67
Figura 15 – Relação Nível de Maturidade versus Tecnologia Habilitadora	69
Figura 16 – Estrutura para Novo Modelo – Fluxo de Construção	71
Figura 17 – Dimensões do Modelo DREAM para a I4.0	73
Figura 18 – Profissões no Grupo WF da I4.0.....	74
Figura 19 – Setores no Grupo WF da I4.0.....	75
Figura 20 – Framework do Modelo DREAM para a I4.0	76
Figura 21 – Aplicação do Modelo DREAM para Evolução da Maturidade 4.0.....	77
Figura 22 – Matriz "X" dos Atributos da I4.0	78
Figura 23 – Relação Tecnologias versus Benefícios	79
Figura 24 – Relação Nível de Maturidade versus Benefícios.....	80
Figura 25 – Fluxo do Modelo aplicado.....	81
Figura 26 – Exemplo do Checklist DREAM para Diagnóstico da Maturidade	83
Figura 27 – Relação entre as colunas do Checklist DREAM	83
Figura 28 – Critério de Pontuação para Avaliação das Questões.....	84
Figura 29 – Número de Questões por Dimensão e Nível de Maturidade	84
Figura 30 – Quadro Kanban para Gestão à Vista do Projeto.....	86
Figura 31 – Detalhe das Atividades do Posto de Trabalho P08.....	88
Figura 32 – Painel Dashboard do Índice de Maturidade DREAM	89
Figura 33 – Posto de Trabalho P08 - Encaixotamento Manual na Caixa Padrão.....	90
Figura 34 – Quadro Resumo do Resultado da Etapa Diagnóstico.....	91
Figura 35 – Quadro Resumo do Resultado da Etapa Recomendação.....	92
Figura 36 – Etapas de Embalagem de Produto	94
Figura 37 – Processo Realizado de Forma Manual – Encaixotar Produto	95
Figura 38 – Teste do Sprint do Produto na Garra.....	96
Figura 39 – Teste do Sprint do Adicionamento do Produto na Caixa de Embarque.....	97
Figura 40 – Quadro Resumo do Resultado da Etapa Execução.....	98
Figura 41 – Quadro Resumo do Resultado da Etapa Avaliação	100
Figura 42 – Consolidação de Resultados do Projeto	102
Figura 43 – Multiplicação - Potenciais postos de trabalho para robô colaborativo	103
Figura 44 – Quadro Resumo do Resultado da Etapa Multiplicação.....	104
Figura 45 – Comparação do Layout Antes versus Depois dos Projetos	106

Figura 46 - Solução de Conectividade para linha modelo.....	108
Figura 47 – Interface de Integração dos Dados.....	110
Figura 48 – Internet Industrial das Coisas para Monitoramento.....	111

LISTA DE TABELAS

Tabela I – Lista de Aprendizados de Projetos.....	68
Tabela II – Comparação de Tempo de Projeto das Metodologias.....	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Tridimensional
ACATECH	<i>The National Academy of Science and Engineering</i>
AGVs	<i>Automated Guided Vehicles</i>
AR	<i>Augmented Reality</i>
B2B	<i>Business to Business</i>
BCG	<i>Boston Consulting Group</i>
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CLP	Controlador Lógico Programável
CPS	<i>Cyber Physical System</i>
DREAM	Modelo DREAM para Implementação de Tecnologias na Indústria 4.0
DREAMY	<i>Digital Readiness Assessment Maturity Model</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning System</i>
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
FIRJAN	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
GTE	Grupo de Trabalho na Empresa
IA	Inteligência Artificial
IEDI	Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial
I.4.0	Indústria 4.0
IIoT	Internet Industrial das Coisas
IoS	<i>Internet of Service</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
KPI	Key Performance Indicator
M2DDM	<i>Maturity Model for Data-Driven Manufacturing</i>
M2M	<i>Machine to Machine</i>
MDIC	Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
MES	<i>Manufacturing Execution Systems</i>
NTP	<i>National Technology Platform</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
OPC	<i>Ole for Process Control</i>
P08	Posto de Trabalho Número 8
PLM	<i>Product Lifecycle Management</i>
PoC	<i>Proof of Concept</i>
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
TA	Tecnologia de Automação
TI	Tecnologia de Informação
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
TPM	<i>Total Productive Management</i>
ViDX	<i>Visual Diagnostics of Assembly Line Performance</i>
VR	<i>Virtual Reality</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. Objetivo	17
1.2. Motivação	18
1.3. Justificativa	19
1.4. Organização do Trabalho	19
2. FUNDAMENTAÇÃO.....	21
2.1. Contexto Sobre a Indústria 4.0.....	21
2.2. A História Atrás da Indústria 4.0	22
2.2.1. A Quarta Revolução Industrial	23
2.2.2. A Indústria 4.0 no cenário mundial.....	24
2.3. Alguns Benefícios da Indústria 4.0.....	26
2.3.1. Aumento de Produtividade com a Indústria 4.0.....	28
2.3.2. Dados em Tempo Real para uma Cadeia de Suprimentos	28
2.3.3. Maior Continuidade dos Negócios com Manutenção Avançada.....	29
2.3.4. Melhores condições de trabalho e sustentabilidade	30
2.3.5. Personalização para o novo consumidor	30
2.3.6. Melhoria na agilidade.....	32
2.4. Os 6 Princípios da Indústria 4.0.....	35
2.4.1. Interoperabilidade	35
2.4.2. Virtualização	36
2.4.3. Descentralização	36
2.4.4. Capacidade de tempo real.....	37
2.4.5. Orientação para Serviço	38
2.4.6. Modularidade.....	38
2.5. As Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0	39
2.6. Os Níveis de Maturidade da Indústria 4.0.....	48
2.6.1. Modelo de Maturidade da ACATECH.....	48
2.6.2. Outras Propostas de Modelos de Maturidade	51
2.6.3. Considerações sobre a Fundamentação.....	55
3. METODOLOGIA.....	57
3.1. Estudo de Caso.....	57
3.2. Objeto de Estudo	60
3.3. Requisitos de Um Modelo para a I4.0	66
3.4. Proposição de um Modelo para Introdução de Novas Tecnologias na Indústria 4.0	70
3.5. Etapas do Modelo DREAM para a Indústria 4.0	80

3.5.1.	Etapa de Diagnóstico.....	82
3.5.2.	Etapa de Recomendação.....	85
3.5.3.	Etapa de Execução.....	85
3.5.4.	Etapa de Avaliação.....	87
3.5.5.	Etapa de Multiplicação.....	87
4.	RESULTADOS.....	88
4.1.	Diagnóstico.....	89
4.2.	Recomendação.....	92
4.3.	Execução.....	94
4.4.	Avaliação.....	99
4.5.	Multiplicação.....	101
4.6.	Outros Resultados Aplicando Tecnologias a Partir do Modelo DREAM...	107
4.6.1.	Avanço do Nível Informatização para Conectividade.....	107
4.6.2.	Benefícios de Produtividade com Aumento de OEE.....	109
4.6.3.	Avanço do Nível Conectividade para Visibilidade.....	110
5.	CONCLUSÃO.....	113
5.1.	Dos Objetivos.....	113
5.2.	Da Aplicabilidade.....	115
5.3.	Sugestões para Trabalhos Futuros.....	116
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	118

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o desenvolvimento e a aplicação de novas tecnologias têm mudado vários setores econômicos do mundo. As empresas de tecnologia desbancam as empresas de petróleo e tornam-se as mais valiosas do planeta. (CANALTECH, 2020) Nesse contexto, o tema sobre novas possibilidades com a introdução dessas novas tecnologias tem ganhado destaque e o termo "Smart" é fortemente associado às Indústrias, Serviços, Cidades e Governos como sinônimo de futuro, utilizando tecnologias para melhorar a produtividade, a sustentabilidade e a prestação de serviços.

Nesse momento é que surge o conceito das Fábricas Inteligentes (*Smart Factories*) um dos pilares da **Indústria 4.0**, que dissemina o uso intensivo de novas tecnologias na indústria aplicadas aos produtos e processos de produção (RADZIWON, BILBERG, *et al.*, 2013), com o desafio de fornecer produtos cada vez mais personalizados em uma fábrica anteriormente projetada e construída para a produção em massa.

A Indústria 4.0 trata-se de um movimento global, associado à **Quarta Revolução Industrial**, que é comparada às outras Revoluções Industriais no que se diz respeito ao salto de produtividade gerado pelo uso de novas tecnologias na Indústria.

A nova indústria, graças ao avanço exponencial da capacidade computacional e com o amadurecimento de tecnologias disruptivas, tem à disposição novas "ferramentas" que impactam positivamente na produtividade, na economia, na sustentabilidade e em diversos processos, que tornam a indústria mais eficiente e certamente mais lucrativa, posicionando-a num novo patamar de competitividade (ROBLEK, MESKO e KRAPEZ, 2016).

Para transformar a Indústria 4.0 em uma realidade é necessário utilizar uma série de tecnologias habilitadoras (do inglês, *Enabling technologies*), que com base na comunicação direta entre máquinas, pessoas e produtos por meio da digitalização de informações, cria modelos computacionais automáticos de gestão que integram horizontalmente toda a cadeia de produção.

Para a implementação das novas tecnologias, o desenvolvimento de inovação nas indústrias é fundamental. Portanto, é importante que os colaboradores dessa

nova indústria conheçam quais são essas tecnologias que formam os pilares da Indústria 4.0 (KAGERMANN, HELBIG, *et al.*, 2013).

Governos de diversos países têm oferecido grandes incentivos políticos e financeiros para o desenvolvimento de projetos e elaboração de uma estratégia para a Indústria 4.0, e países tais como Alemanha, China, Coreia do Sul e EUA estão se destacando ao aplicar esses incentivos na modernização de seus parques industriais.

Na Alemanha, por exemplo, além do governo, dezenas de representantes dos setores privados declararam um investimento potencial de **2,5 bilhões de Euros** para o financiamento de projetos e pesquisas sobre a Indústria 4.0 (IEDI, 2017).

Na China, foi criado o Fundo de Investimento de Manufatura Avançada de **2,7 bilhões de Euros** (IEDI, 2018).

Na Coreia do Sul, o governo tem a proposta de instalar 10.000 fábricas inteligentes e para 2020 já possui um fundo com **972 milhões de Dólares** para iniciar esse programa.

Nos Estados Unidos, o investimento em pesquisas chega a **496 bilhões de Dólares** segundo uma pesquisa realizada pela FIRJAN (Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro) e SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial) em parceria com a FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) (FIRJAN SENAI, 2019).

No Brasil, foi criado um programa, em 2018, que previa investimentos na ordem de **8,6 bilhões de Reais** e assim financiar os projetos para o desenvolvimento da Indústria 4.0 no país, além de zerar alíquotas para importação de robôs. O BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) destinaria **5 bilhões de Reais** em crédito para fomentar a aplicação das novas tecnologias nas indústrias brasileiras. A FINEP concederia **2,5 bilhões de Reais** utilizando a taxa de juros de longo prazo e o Banco da Amazônia investiria **1,1 bilhão de Reais**. O Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC) incentivará as *startups* e indústrias para se desenvolverem em soluções tecnológicas (PUPO e SIMÃO, 2018).

Esse novo contexto da indústria, possui um alto grau de tecnologia e digitalização. O uso massivo dessas novas tecnologias com os novos modelos de pensamento transformará as indústrias em “digitais”, que de maneira integrada com seus clientes e fornecedores, buscarão trabalhar de forma disruptiva em um ecossistema industrial digital (SALTIÉL e NUNES, 2017).

O movimento chamado de Indústria 4.0 (I4.0) é o novo estado da arte para a gestão das indústrias e tem ganhado notoriedade em todo o mundo. É possível observar que a velocidade das mudanças tecnológicas na I4.0 é incrivelmente alta e acompanhar todo esse movimento tem sido um grande desafio (ROBLEK, MESKO e KRAPEZ, 2016). Tal desafio é um estímulo para o desenvolvimento deste trabalho, uma vez que os setores: acadêmico, social e principalmente industrial demandam por conhecer mais profundamente sobre esse tema.

Apesar de todo o contexto de novas tecnologias, fábricas inteligentes, subsídios de governos, grandes investimentos, ecossistema de inovação, velocidade das mudanças e a demanda por conhecimento da I4.0 nessa Quarta Revolução Industrial, ainda há uma certa morosidade na implementação dessas novas tecnologias no “chão de fábrica”. Nota-se, sobretudo, a falta de conhecimento de como implementar os projetos para a evolução nos níveis de maturidade da I4.0.

Desta forma, faz-se necessário o desenvolvimento de ferramentas e técnicas que colaborem no sentido para avançar tecnologicamente e digitalmente, ajudando os gestores e profissionais atuais a entenderem os benefícios das tecnologias e as oportunidades que possam obter em seus processos produtivos.

Dado o exposto, apresenta-se a seguinte pergunta de partida: **Como desenvolver um modelo para a introdução de novas tecnologias em processos industriais no contexto da I4.0?**

1.1. Objetivo

O presente trabalho tem por objetivo principal propor um modelo para a introdução de novas tecnologias em processos industriais no contexto da I4.0. Como objetivos específicos, este trabalho visa desenvolver e analisar os seguintes aspectos:

- a) Customizar ferramentas de gestão de mercado, aplicando as mesmas de forma otimizada na I4.0;
- b) Com base na literatura, explorar os benefícios envolvidos na aplicação de projetos para a I4.0;
- c) Desenvolver um método a partir dos aprendizados de tentativas de aplicação das tecnologias em casos reais;

- d) Evidenciar os resultados obtidos da aplicação de algumas dessas tecnologias em um processo escolhido como caso de estudo.

1.2. Motivação

Como abordado na **Introdução** deste trabalho, apesar de todo o contexto sobre a I4.0 e as potenciais oportunidades geradas pela implementação de novas tecnologias nos ambientes fabris, existe uma “trava” que impede o desenvolvimento desses projetos. Por se tratar de um tema relativamente novo e que ainda não está consolidado nas esferas de lideranças das empresas, profissionais de todos os níveis da indústria ainda não se beneficiam dos resultados que ela pode gerar.

O que mais intriga os autores e pensadores da gestão moderna é que, por mais que muitas dessas novas tecnologias sejam bem conhecidas e estejam em um nível alto de maturidade, não há relatos de exemplos e aplicações práticas na indústria (MARTINEZ, JIRSAK e LORENC, 2016), o que faz com que muitos se tornem céticos do real avanço proporcionado pela aplicação dessas tecnologias.

A situação é ainda pior quando colocado o holofote no cenário da **Indústria Brasileira**. Implementar a I4.0 em países desenvolvidos e altamente tecnológicos já é um desafio, e esse desafio aumenta quando esse tema é tratado em uma indústria obsoleta e com um conjunto de sistemas legados. Além disso, existe a questão da falta de capacitação profissional e conhecimento sobre o tema, que potencializam a dificuldade de transformação na Indústria Brasileira. Segundo uma pesquisa realizada pela FIESP (Federação das Indústria do Estado de São Paulo) em parceria com o SENAI-SP, publicada pela Agência Indusnet, em 2018, 32% dos entrevistados não tinham ouvido falar em I4.0, Manufatura Avançada ou Quarta Revolução Industrial, (AGÊNCIA INDUSNET FIESP, 2018).

Observa-se que no cenário tecnológico atual, a falta de interesse e de conhecimento dos profissionais são fatores que contribuem para o atraso da implementação de novas tecnologias na indústria Brasileira, o que por sua vez compromete a produtividade dessas empresas. Portanto, desenvolver um modelo para a introdução dessas novas tecnologias aplicado ao caso brasileiro é de suma importância no atual contexto econômico, e constitui assim uma forte motivação para o presente trabalho.

1.3. Justificativa

A Justificativa para o desenvolvimento dessa pesquisa dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica para obtenção do título de Mestre se dá pelo fato de que esse novo modelo da indústria requer que profissionais de diferentes áreas, como Ciência da Computação, Engenharias Mecânica, Elétrica, Automação e Telecomunicação, se integrem e colaborem para a aplicação dos projetos nessa nova indústria (THOBEN, WIESNER e WUEST, 2017). Trazer luz sobre esse tema através de pesquisas ajuda a compartilhar os aprendizados com todos esses profissionais.

Olhando a questão da importância dessa pesquisa, a I4.0 é um tema atual e muito comentado nos meios acadêmicos, uma vez que tem impacto direto no futuro do mercado de trabalho, forçando as instituições de ensino a adaptarem seus currículos escolares para a formação do novo profissional. Ainda, os potenciais benefícios da I4.0 causados na produtividade e os grandes investimentos projetados em diversos países torna o estudo sobre o tema essencial devido aos impactos que eles gerarão na economia global.

1.4. Organização do Trabalho

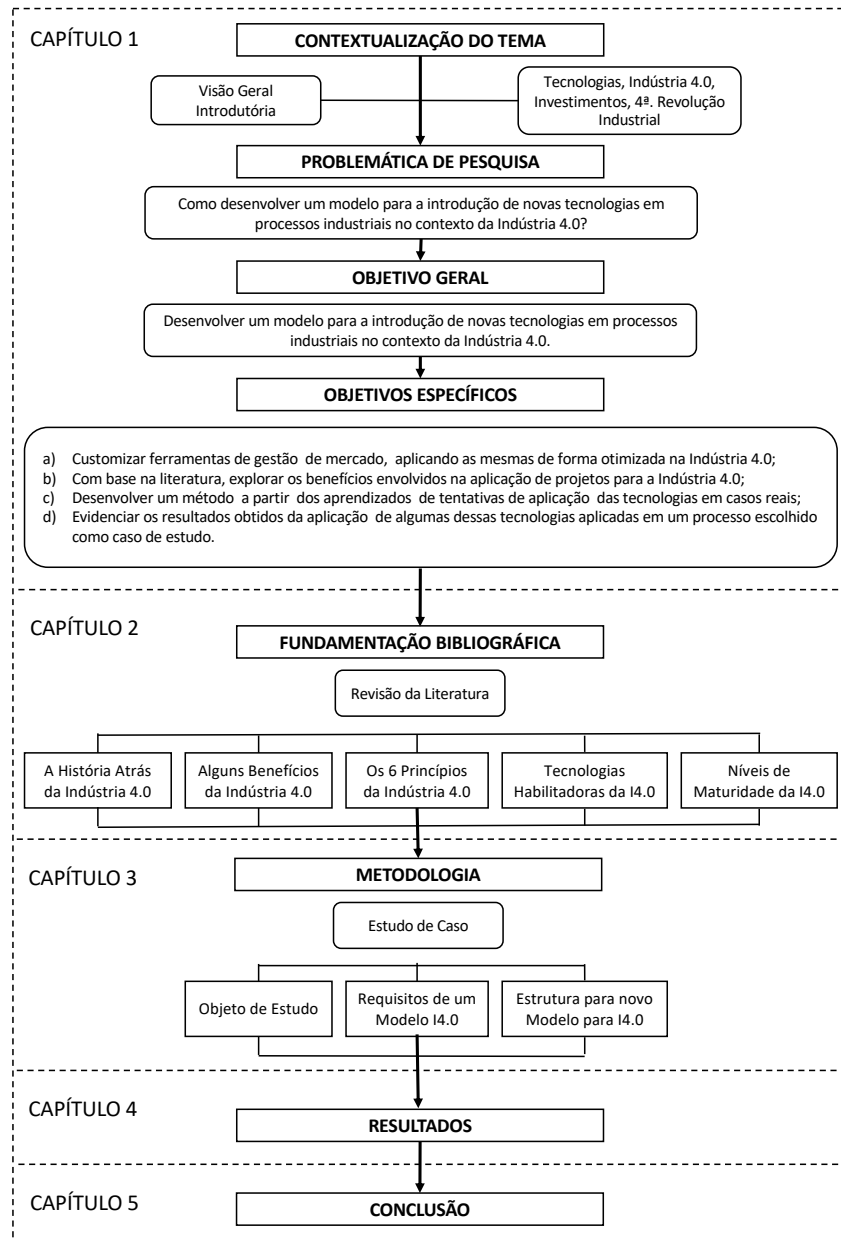
Muito foi pesquisado durante a elaboração deste texto e foram reunidas, nessa dissertação, as principais informações, organizando este trabalho em cinco capítulos, conforme mostrado na Figura 1.

Para facilitar o entendimento do assunto aqui abordado, esse trabalho foi estruturado buscando reunir as experiências de implementação das tecnologias habilitadoras em um estudo de caso. Para isso, fez-se necessário aprofundar os conhecimentos em cada uma das tecnologias, estudo dos níveis de maturidade da I4.0 e ferramentas de gestão de mercado, de modo que o presente trabalho interligue esses estudos de mercado ao estudo de caso.

No **Capítulo 2** apresenta-se desde o contexto histórico da I4.0 até os benefícios que os autores atribuem a ela. O **Capítulo 3** apresenta o objeto de estudo e a forma que foram capturadas as informações para a estruturação da metodologia. No **Capítulo 4** são apresentados os resultados obtidos com a adoção das tecnologias instaladas na linha piloto e com isso a comprovação da importância da utilização

das mesmas para as indústrias brasileiras. As conclusões do trabalho são explanadas no **Capítulo 5**.

Figura 1 – Diagrama Estrutural do Trabalho



Fonte: Autoria própria

2. FUNDAMENTAÇÃO

Este capítulo tem o objetivo de apresentar algumas informações relevantes sobre a I4.0 desde o contexto histórico, abordando os princípios, os benefícios e os níveis de maturidade da I4.0, além de fazer um breve resumo sobre as novas tecnologias habilitadoras.

2.1. Contexto Sobre a Indústria 4.0

I4.0, Manufatura Avançada e Fábricas Inteligentes são variações dos termos utilizados para referir ao avanço das indústrias com a utilização de novas tecnologias no processo produtivo e no desenvolvimento de produtos que visam o aumento de produtividade e flexibilidade das empresas, para atender a uma nova classe de consumidores que querem cada vez mais produtos personalizados e de alta qualidade (ROBLEK, MESKO e KRAPEZ, 2016).

O conceito da I4.0 vem se desenvolvendo em um período marcante da história que revoluciona o modo de relacionamento entre as pessoas e o acesso à informação. Nessa nova era, o avanço da capacidade dos computadores de forma exponencial facilita a digitalização e o processamento das informações e ainda modifica os conceitos de estratégias de inovação que proporciona crescimento econômico com a geração de empregos qualificados e elevados padrões de vida. (SALTIÉL e NUNES, 2017).

Para a I4.0 deixar de ser apenas um conceito e se tornar uma realidade é necessária a adoção de um conjunto de **tecnologias de automação** industrial (TA) e **tecnologias de informação** (TI), com a comunicação direta entre máquinas, equipamentos, dispositivos, pessoas, produtos e a digitalização dessas informações. Esse contexto é conhecido como Internet das Coisas (do inglês, *Internet of Things - IoT*), utilizando também a tecnologia de Inteligência Artificial (IA) para responder rapidamente às mudanças de demanda de produtos (DURAKBASA, 2018).

De forma muito rápida, todas essas novas tecnologias estarão interligadas, possibilitando tomadas de decisões no conceito da I4.0, o que trará maior produtividade, economia, sustentabilidade, autonomia e menos desperdício com uma produção mais eficiente e certamente mais lucrativa.

A utilização do termo I4.0 ocorreu publicamente pela primeira vez em 2011 por um grupo de representantes de diferentes áreas (Academia, Empresa e Governo) sob uma iniciativa para melhorar a competitividade alemã na indústria de manufatura (HOFMANN e RUSCH, 2017).

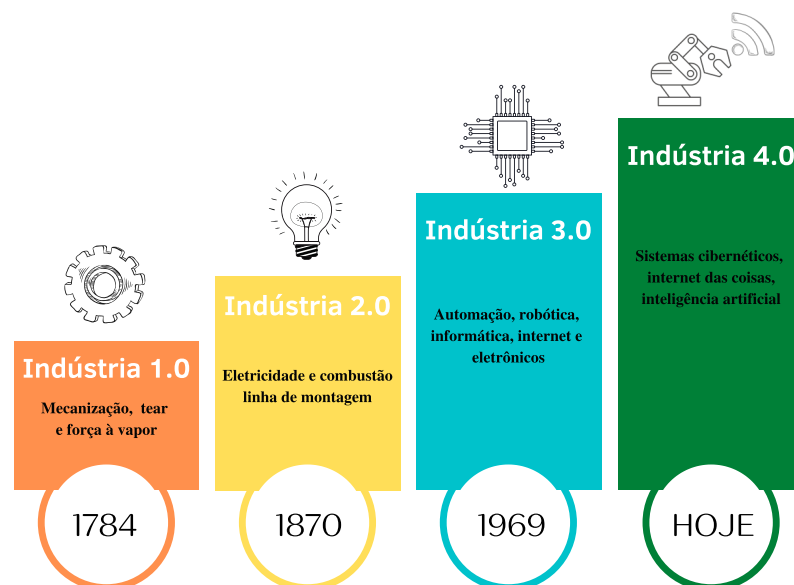
Tendo tudo isso em vista, faz-se necessário apresentar o contexto histórico das revoluções industriais e o que de fato é a I4.0. De forma simples, I4.0 é o modelo de indústria inteligente, totalmente conectada, onde as decisões são baseadas em dados, utilizando plataformas CPS – *Cyber Physical System*, integrando toda a cadeia de suprimento (LU, 2017).

2.2. A História Atrás da Indústria 4.0

Uma sucessão de Revoluções Industriais, mostrada na Figura 2, aconteceu à medida que novas tecnologias foram introduzidas no processo de produção e que alavancaram de forma impressionante os resultados produtivos gerando novos patamares de produtividade, escala e redução de custo.

Para entender como a I4.0 tornou-se a palavra de ordem da atualidade, uma olhada em seus antecessores permite dar uma perspectiva de como essa revolução em particular é diferente.

Figura 2 – As Quatro Revoluções Industriais.



Fonte: Autoria própria - adaptado de SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial)

A primeira revolução industrial iniciou na Grã-Bretanha com o processo de adoção de novas tecnologias e a introdução de máquinas na produção até o final do século XVIII (1760-1850). Isso incluiu o uso do vapor e água como fontes de energia motriz para máquinas, substituindo a energia produzida pelo homem. Uma das indústrias que se beneficiou muito com essas mudanças foi a indústria têxtil, a primeira a utilizar essas novas tecnologias (SOUSA e NEVES, 2019).

A segunda revolução industrial data entre 1870 e 1914 (embora algumas de suas características datem de 1850) e introduziu sistemas pré-existentes como telégrafos e ferrovias nas indústrias. Foi nessa época que a industrialização avançou deixando os limites de países do ocidente europeu, chegando aos Estados Unidos, Japão e muitos outros países da Europa. Nessa fase ocorreu a utilização da eletricidade nas fábricas contribuindo para a elevação das taxas de produção. O aperfeiçoamento de várias tecnologias e a criação de muitas outras somadas à produção em massa de aço ajudaram a introduzir ferrovias no sistema, o que conseqüentemente contribuiu para o aumento da produção e da lucratividade. O grande incentivo à pesquisa nessa época contribuiu para a melhoria no processo de logística e transportes (SOUSA e NEVES, 2019).

Talvez a terceira revolução industrial seja muito mais familiar do que as anteriores, já que a maioria das pessoas que vivem hoje está familiarizada com as indústrias apoiadas em tecnologias digitais nos sistemas de produção. As transformações possibilitadas pelos avanços técnicos e científicos são vivenciadas até os dias atuais. A terceira revolução industrial é datada entre 1950 e 1970. É muitas vezes referida como a Revolução Digital ou *Revolução Techno-científica*, com avanços nas áreas de automação, informática, robótica, biotecnologia, genética, telecomunicações e muitas outras. A terceira revolução foi, e ainda é, um resultado direto do enorme desenvolvimento em computadores, tecnologia de informação e avanço nas comunicações (SOUSA e NEVES, 2019).

2.2.1. A Quarta Revolução Industrial

A quarta revolução industrial é mais um progresso tecnológico em todos os setores de atividades levando a automação, informatização e a digitalização dos processos de fabricação a um novo nível, introduzindo novas tecnologias de uma forma conectada colaborando para um sistema de produção em massa flexível e

customizável. Tais capacidades fazem com que as máquinas operem de forma independente e colaborem com as pessoas na criação de um modelo de produção orientado para o cliente (HOFMANN e RUSCH, 2017).

A máquina conectada a diversos sistemas é capaz de coletar dados, analisá-los e criar contramedidas possibilitando a auto-otimização, autocognição e autocustomização na indústria.

A primeira utilização do termo I4.0 ocorreu em 2011 na Feira de Hannover, Alemanha, e refere-se à quarta revolução industrial (KANG, 2016) (WANG, 2017) (HOFMANN e RUSCH, 2017).

Resumidamente, é um conjunto de tecnologias baseado nas interações entre CPS, *Big Data*, IoT, Conectividade em Rede, recursos de IA, Realidade Aumentada e Robótica, que integrados facilitam a visão do estado de produção e disponibilizam ferramentas para que os humanos tomem as melhores decisões nas fábricas inteligentes.

Nessa nova era da Quarta Revolução Industrial, o uso da digitalização é intensificado e tal movimento impacta não somente as grandes empresas, mas segundo Roblek, Meško e Krapež (2016), impactará também as pequenas e médias empresas, que pela aplicação das novas tecnologias, poderão estar no mesmo patamar das grandes indústrias podendo competir em flexibilidade, eficiência e custos.

A Terceira Revolução Industrial foi marcada pelo uso dos robôs, da informática e dos microprocessadores utilizados na indústria, mas tais tecnologias se tornam mais efetivas na Quarta Revolução Industrial. Uma fábrica inteligente conta com o aumento da utilização das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) de uma forma muito mais integrada. Por mais que exista um aumento dessa utilização, o que surpreende é que o impacto no consumo de energia é inversamente proporcional, uma vez que a medida que essas novas tecnologias entram no cenário industrial, a eficiência energética dos processos é maior (POSADA, 2015) (WANG, 2017).

2.2.2. A Indústria 4.0 no cenário mundial

Na ordem cronológica, a I4.0 surgiu **em 2011** e foi ganhando força e apoio de diversos grupos acadêmicos, empresas e governos. Desde que surgiu, as

mudanças em algumas indústrias têm sido impressionantes. Empresas que produzem tecnologia são as pioneiras em aplicar as novas tecnologias em suas plantas fabris e as primeiras a se beneficiarem de seus resultados. Algumas dessas empresas que se tornaram referência nesse sentido são Siemens, Hitachi, Bosch, Panasonic, Honeywell, Mitsubishi Electric, ABB, Schneider Electric e Emerson Electric, que investem em projetos relacionados a CPS e IoT (LIAO, 2017).

Uma das grandes transformações da I4.0 está relacionada também com a mudança no modelo de pensamento, gestão e postura dos profissionais que precisam se adaptar à essa nova realidade. Torna-se, portanto, necessária a quebra de paradigmas para uma mudança organizacional e cultural das indústrias (SCHUH, 2017).

Com consumidores cada vez mais exigentes, a capacidade de adaptação das indústrias para atender uma demanda de customização em massa de produtos é cada vez mais exigida e processos de produção deverão ser cada vez mais flexíveis. Por isso, os CPS's se tornam relevantes para o desenvolvimento de produtos que se adaptam as preferências dos consumidores (HOFMANN e RUSCH, 2017).

Em 2015, em Hannover na Alemanha, foi apresentado o framework RAMI 4.0 (*Reference Architectural Model for Industrie 4.0*), com a proposta de padronização de normas e de uma hierarquia de arquitetura para o ecossistema cibernético da cadeia produtiva da indústria (LIMA, 2018) (VENTURELLI, 2020).

Em 2016, foi desenvolvida na Hungria, uma plataforma nacional com o apoio do governo, a NTP (*National Technology Platform*), com o objetivo de promover a I4.0 no país. Esta plataforma lançou uma pesquisa online para avaliar a situação das empresas húngaras quanto à I4.0 (RAJNAI e KOCSIS, 2018).

Em 2017, foi realizada uma pesquisa para identificar como a I4.0 é vista por algumas empresas no mundo, na qual participaram 400 empresas da China, França, Alemanha, Reino Unido e Estados Unidos, e as conclusões foram:

- ❖ 85% das empresas de manufatura global estão cientes do potencial aumento de eficiência com a implementação de tecnologias da I4.0.
- ❖ Em contrapartida, somente 15% das empresas pesquisadas implementam estratégias para analisar dados de suas máquinas e deram início à projetos de aplicação das tecnologias da I4.0.

Segundo Basl (2017), foi possível identificar que as empresas estão preocupadas com os dados da pesquisa realizada pela empresa de consultoria Infosys e pela Universidade de Aachen na Alemanha (*Institute for Industrial Management at the University of Aachen*), e, como plano de ação, já fizeram um planejamento de melhorias para os próximos cinco anos, e afirmam que o problema de conectividade e a obtenção de dados de suas máquinas será resolvido até 2022.

Os países como Alemanha e EUA possuem as principais empresas que têm focado seus esforços para o desenvolvimento e avanço das fábricas inteligentes da I4.0. O Boston Consulting Group (BCG), realizou uma pesquisa sobre esse tema em 617 empresas, com receitas de mais de 50 milhões de dólares, para entender o status da I4.0. O resultado desse estudo revelou que quase 50% das empresas alemãs já desenvolveram projetos iniciais da I4.0 e que as empresas americanas também estão trabalhando fortemente nesse assunto. Quando perguntado quais seriam os planos para os próximos 1 ou 2 anos, 40% das empresas americanas afirmaram que possuem projetos em novas tecnologias da I4.0 e cerca de 60% das empresas Alemãs possuem a mesma estratégia (THE BOSTON CONSULTING GROUP (BCG)., 2015).

2.3. Alguns Benefícios da Indústria 4.0

Com um potencial bastante ambicioso, a I4.0 promete diversos benefícios para a indústria tradicional e garante ganhos de eficácia operacional, melhoria de competitividade, crescimento, aumento de produtividade, bem como o desenvolvimento de novos modelos de negócios, produtos e serviços (KAGERMANN, HELBIG, *et al.*, 2013).

Uma pesquisa realizada pela FIESP sobre os potenciais benefícios que a I4.0 é capaz de gerar em que participaram 227 empresas, sendo 55% pequenas, 30% médias e 15% grandes, constatou os seguintes fatos:

- ❖ 90% concordam que a I4.0 “aumentará a produtividade” e que “é uma oportunidade ao invés de um risco”;
- ❖ 67% esperam sentir um impacto mediano com a implementação da I4.0 (FIRJAN SENAI, 2019).

A expectativa é gerar ganhos de produtividade de cerca de 78 bilhões de euros em seis setores até 2025 (BAUER, SCHLUND, *et al.*, 2014). Uma das formas mais claras da obtenção desses benefícios é a utilização da Internet das Coisas e a conectividade com máquinas, equipamentos, dispositivos e processos. De uma forma totalmente integrada às informações da cadeia produtiva, cruzadas com as informações dos interesses e preferências dos clientes e consumidores, gera oportunidades que possibilitarão às empresas integrar as necessidades dos clientes nos seus processos de desenvolvimento e de produção.

Segundo a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), a adoção das tecnologias da I4.0 na indústria brasileira poderia gerar uma economia de 73 bilhões de reais ao ano, divididos em 35 bilhões de reais em redução de custos com manutenção de máquinas e equipamentos, 31 bilhões de reais em ganhos de eficiência e produtividade e 7 bilhões de reais de economia com a diminuição de gastos com energia (ROTTA, 2017).

Uma outra tendência da I4.0 é que através da IoS (do inglês, *Internet of Service*), serviços possam ser oferecidos, de modo que ao invés de vendas e compras de ativos, tal “aquisição” seja feita em forma de serviço, cobrando apenas as despesas de consumo de um dado item. Assim, por exemplo, em vez de vender um compressor de ar, as empresas que vendem esse tipo de equipamento podem vender o consumo de utilização do seu equipamento, que totalmente conectado fornece dados de performance e resultado que serão pagos pelo comprador em forma de serviço (HERMANN, PENTEK e OTTO, 2016).

O termo I4.0 é muito associado ao ambiente industrial das fábricas, contudo as tecnologias disponíveis podem ser utilizadas em diversos setores e seguimentos e os benefícios dessas tecnologias podem ser encontrados em construções inteligentes, na medicina, em cidades inteligentes e transportes.

Com a aplicação da I4.0 haverá uma transformação na aplicação da tecnologia gerando novas formas de fazer negócio, a partir disso, a criação de soluções para todo o ecossistema industrial acontece de forma rápida, eficiente, com muita autonomia e principalmente centradas aos clientes.

A I4.0, visa integrar o mundo real ao mundo virtual, incorporando em seu contexto a ciência de dados, a internet e a tecnologia de informação (KANG, 2016) (WANG, 2017) (HOFMANN e RUSCH, 2017). Trará a curto prazo, vantagens de

produtividade e redução de custo. As vantagens a longo prazo serão melhor visibilidade de demanda, automação de ponta a ponta da cadeia produtiva, otimização de recursos e redução de resíduos.

2.3.1. Aumento de Produtividade com a Indústria 4.0

Uma das grandes expectativas da I4.0 é o aumento de produtividade nas fábricas que implementarem as tecnologias habilitadoras, isso significa redução de custos, redução de desperdícios, aumento de lucratividade, aceleração da produção e automatização para evitar erros e atrasos. A I4.0 oferece várias soluções, desde a utilização otimizada de ativos e processos de produção mais suaves até uma melhor logística e gerenciamento de estoque (HOFMANN e RUSCH, 2017).

A indústria alemã, por ser precursora da I4.0, também foi a primeira indústria a colher dos benefícios de produtividade. Os planos de ação para a estratégia de aplicação de alta tecnologia na indústria alemã, com o estabelecimento de CPS, proporcionam a aquisição de dados em tempo real e permite esse ganho de produtividade (THOBEN, WIESNER e WUEST, 2017).

Outro reflexo da I4.0 é que, com o auxílio das tecnologias de CPS e IoT, torna-se viável uma produção em massa altamente flexível. Na logística, potencializam-se os ganhos pela possibilidade de rastreabilidade total da distribuição de produtos com otimização de custos (HOFMANN e RUSCH, 2017).

2.3.2. Dados em Tempo Real para uma Cadeia de Suprimentos

Muitos dos benefícios de melhoria de produtividade estão relacionados às metas internas de otimização de custos e processos. No entanto, ao mesmo tempo, vários desses objetivos estão relacionados a uma perspectiva de maior foco no cliente. Portanto, é necessário entender todo o ciclo de vida dos produtos e não somente ter os dados do momento de sua fabricação. Então, é importante realizar a coleta de dados observando-se toda a cadeia de valor, desde a extração ou produção dos insumos, passando pelos fornecedores, logística, manufatura, distribuição e uso dos produtos pelo cliente, recebendo em tempo real dados relevantes para realimentação dos processos visando a introdução de melhoria contínua nessa cadeia baseada nos dados coletados (HOFMANN e RUSCH, 2017).

Segundo Posada (2015), uma forma para obtenção de dados confiáveis para o ciclo de melhoria contínua na cadeia de suprimentos é a utilização de IoT, obtendo informações e integrando todas as etapas da cadeia por intermédio desses dados. Além disso, os sensores conectados a esses sistemas são responsáveis pela rastreabilidade, auto reconhecimento e comunicação com as peças, os produtos e as máquinas.

Os clientes também querem maior produtividade, a velocidade não é apenas uma vantagem competitiva, é uma expectativa do cliente em uma economia cada vez mais centrada no conceito de tempo real. Atender a clientes cada vez mais exigentes e muitos ansiosos em receber rapidamente o produto que estão comprando, tem um poder elevadíssimo de retenção e fidelização. Ser capaz de entregar rápido e com alta qualidade são fatores que geram uma experiência positiva para os clientes contribuindo para a geração de valor e a preferência de marca. Além disso, os clientes simplesmente esperam por isso (POSADA, 2015).

2.3.3. Maior Continuidade dos Negócios com Manutenção Avançada

Quando uma máquina ou equipamento na indústria quebra, ele precisa ser restabelecido rapidamente. Cada quebra ou falha dos equipamentos na fábrica custa tempo, dinheiro e com frequência a sua manutenção desencadeia mobilização da equipe de suporte e de engenheiros. Uma produção com adaptação automática e flexível para eventos inesperados, como por exemplo uma falha na linha de produção, torna o ambiente industrial mais previsível e conseqüentemente pode-se se antecipar à essas falhas com redução de custos de manutenção (POSADA, 2015). Se um robô industrial em uma fábrica de automóveis cessa sua operação, o impacto não é apenas o robô que está quebrado. A produção é afetada, custando muito dinheiro e clientes insatisfeitos, e muitas vezes a produção pode ser totalmente interrompida. É o pior pesadelo de todos, já que a continuidade dos negócios é uma preocupação extremamente alta.

Quando equipamentos das linhas de produção falham, além de todo o trabalho de manutenção dos equipamentos, recursos e custos, a reputação pode ser prejudicada e pedidos podem ser cancelados. Se os ativos industriais estão conectados, podem ser monitorados através da Internet das Coisas e os problemas são resolvidos antes que eles aconteçam. Os alertas podem ser configurados, os

ativos podem ser mantidos de forma proativa, o monitoramento e o diagnóstico em tempo real tornam-se possíveis, os engenheiros podem corrigir os problemas antecipadamente e à distância. Em resumo, previne quaisquer eventualidades, sendo proativo, detectando os problemas com antecedência (WAN, 2017).

2.3.4. Melhores condições de trabalho e sustentabilidade

Falar de pessoas, considerando-se as dimensões humana e social, é de suma importância na I4.0, uma vez que com as boas expectativas com relação aos ganhos gerados com a implementação das tecnologias nos processos, surge uma certa insegurança de profissionais que potencialmente podem ser substituídos na operação de alguns processos. Nesse sentido, surge a necessidade do aprimoramento da interação homem-máquina, incluindo a coexistência de robôs com uma nova forma de integração e operação das fábricas inteligentes (POSADA, 2015).

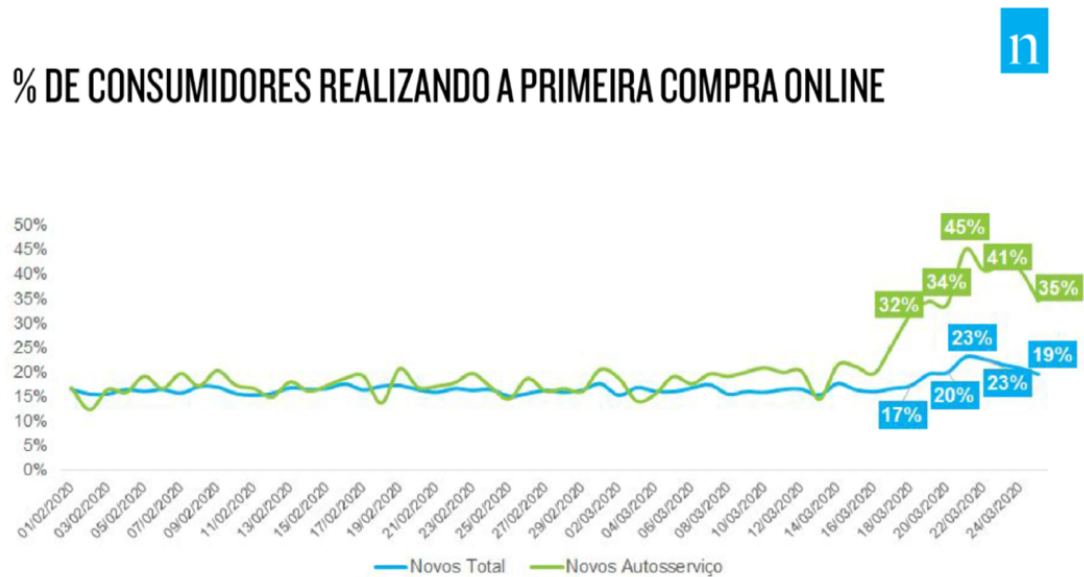
Melhorar as condições de trabalho com base no monitoramento de variáveis tais como temperatura, umidade, consumo de energia e outros dados na planta em tempo real, é um novo recurso que a I4.0 disponibiliza. Ao acompanhar esses parâmetros que interferem no bem estar dos colaboradores, adequações podem ser feitas para a melhoria da condição de trabalho, assim como a rápida detecção e aumento da proteção em caso de incidentes, tais como detectar a presença de gases, radiação, que podem causar algum dano a saúde e a vida dos colaboradores da empresa, como apontam os autores (THOBEN, WIESNER e WUEST, 2017) e (KANG, 2016).

2.3.5. Personalização para o novo consumidor

Observa-se que o comportamento e as preferências do consumidor atual mudaram. Ao mesmo tempo, ferramentas digitais transformaram a forma como o trabalho, as compras e a vida em sociedade acontece. Nesse respeito é importante citar as mudanças do comportamento do consumidor devido à crise causada pela pandemia mundial associada à COVID-19. Segundo uma pesquisa realizada pela Nielsen, publicada em seu site em 30 de abril de 2020, a COVID-19 é um catalizador inesperado para a adoção de novas tecnologias (NIELSEN, 2020). Um

dos tópicos abordados nesse estudo foi o movimento das compras online como demonstra a Figura 3.

Figura 3 – Pesquisa Compra Online Consumidores



Fonte: Nielsen Online Sales – Período 01 de janeiro 2020 a 25 de março 2020.

A Nielsen espera que os consumidores possam ter maiores motivações e menos barreiras perceptíveis para buscar mais ativamente soluções tecnológicas que auxiliem as tarefas cotidianas como as compras (NIELSEN, 2020).

As pessoas também se tornaram mais exigentes com relação a respostas rápidas, informações e entregas oportunas. Além disso, os consumidores também gostam de um certo grau de personalização, dependendo do contexto. Os calçados esportivos, por exemplo, por mais que existam diversos modelos e cores sempre há uma oportunidade de personalização. Nesse sentido, o site do SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas), diz que: “As exigências dos consumidores crescem a cada dia. Ao oferecer o calçado apropriado e customizado para cada perfil, o empreendimento alcança maiores chances de impulsionar as suas vendas, reforçando o relacionamento com os clientes” (FIRJAN SENAI, 2019).

Além disso, outro fenômeno está ocorrendo que impacta as cadeias tradicionais de suprimentos. Cada vez mais, os consumidores têm (e querem) possibilidades de ter uma interação direta com uma marca e sua capacidade de fabricação. Plataformas digitais para personalizar produtos como mencionado, rotas reduzidas

entre produção e entrega, possibilidades de cocriar e assim por diante. Esse fenômeno não acontece apenas com os consumidores finais do produto, mas cada vez mais a personalização é exigida em um contexto B2B (do Inglês, *Business to Business*), mesmo que seja apenas para inserir um rótulo, adicionar um recurso personalizado ou adaptar qualquer característica do produto. Com isso, a produção deverá se adaptar para lotes menores, atendendo as necessidades individuais do cliente (POSADA, 2015).

2.3.6. Melhoria na agilidade

Além das considerações sobre benefícios competitivos e personalização, também é preciso considerar aspectos de agilidade, escalabilidade e flexibilidade. A mesma escalabilidade e agilidade se espera dos serviços e tecnologias de TI, como *Cloud*, são esperados na manufatura.

No cenário atual de transformação por que passa a indústria, com o surgimento de novos modelos de negócio e a evolução das exigências dos novos consumidores, a importância fica cada vez mais clara de que uma empresa seja cada vez mais ágil, desde a criação de novos produtos e serviços até a agilidade das tomadas de decisões nos processos e na gestão das fábricas.

Essas decisões devem ter o foco principal em atender bem os consumidores e clientes, que é um diferencial nessa nova concorrência entre empresas cada vez mais digitais e totalmente orientadas ao cliente.

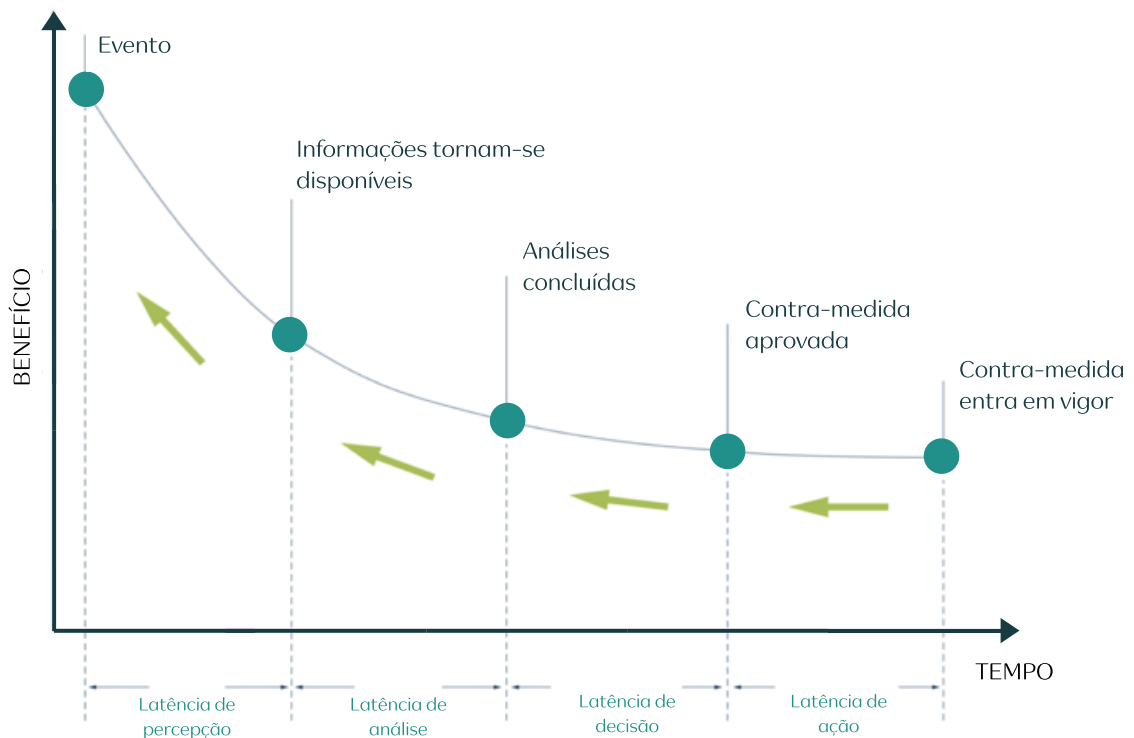
Sob o ponto de vista de fábrica, conforme Posada, (2015) e Kang (2016), a abordagem de agilidade está muito ligada a ter condições de oferecer uma velocidade de resposta muito rápida, isso inclui entender com agilidade os problemas de fábrica, agilizar as análises de falhas, responder com agilidade aos novos planos de produção com otimização de tempo de troca de produtos, e ser ágil nas tomadas de decisões para implementar em tempo real os ajustes necessários para alavancar os resultados. Por exemplo, *big data*, IA, robôs e CPS's para prever e atender a demanda sazonal, flutuações na produção e possibilidades de *down* ou *upscale*. Ou seja, os ajustes no planejamento de produção devido à variação de demanda que muitas vezes são pouco previsíveis, podem se tornar mais previsíveis, graças a uma maior visibilidade, flexibilidade e possibilidade de alavancar os ativos em função de requisitos de produção.

Os CPS's têm por característica trocar informações com outros sistemas de forma autônoma. Conseqüentemente, essas informações transitam entre as máquinas e sensores inteligentes, com os dados de materiais e armazenamento que, por fim, se integram com todo o sistema de produção, de modo que tal integração proporciona a agilidade e flexibilidade para que as decisões sejam tomadas de forma rápida e assertiva, podendo ser traduzidas em ganhos de eficiência operacional (POSADA, 2015) (KANG, 2016).

Nesse contexto, a I4.0 pode ajudar estabelecendo condições de disponibilizar dados e informações de forma online que ajudarão em todos os processos de decisões, tornando essas decisões orientadas aos dados.

Nas fábricas tradicionais, existem oportunidades de melhoria com relação à redução do atraso de informações detalhadas sobre o evento, gerando atrasos no processo de decisão ou a falta de decisões assertivas que contribuem para um melhor resultado.

Figura 4 – Impacto da Velocidade de Ação em um Evento de Fábrica



Fonte: Autoria própria – adaptado de ACATECH (SCHUH, 2017)

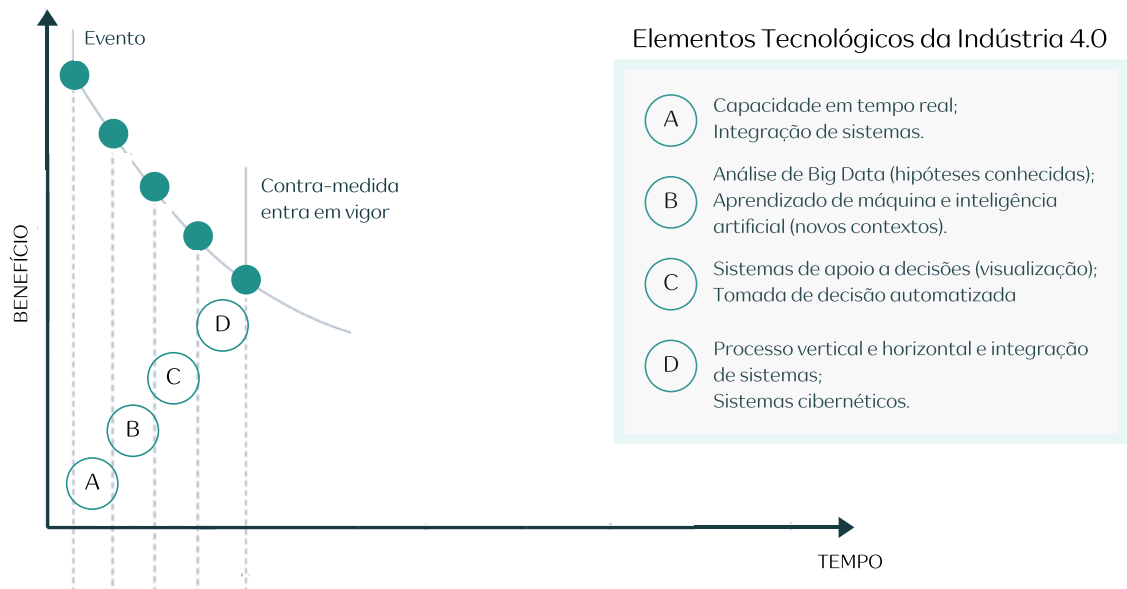
De acordo com a Figura 4, quando acontece um evento de fábrica, antes de serem construídas as contramedidas e o plano de ação para solução do evento em questão, é necessário realizar um ciclo de quatro fases: percepção, análise, decisão e ação. Primeiramente, receber as informações do que de fato aconteceu nesse evento, depois analisar quais os motivos por ter acontecido, para então gerar uma série de contramedidas que devem ser avaliadas e aprovadas até chegar aos planos de ação que de fato solucionarão o problema. Esse conjunto de fases demanda um certo tempo precioso desde o acontecimento do evento até a sua resolução efetiva.

Quanto mais rápido uma fábrica responder a um evento que impacta nos resultados, menor será o tempo para ela colher os benefícios por essa velocidade de resposta. As setas verdes na Figura 4 indicam a necessidade de reduzir as latências entre as fases e consequentemente melhorar o tempo de resposta para um evento.

Tradicionalmente, as fábricas que possuem sistemas de gestão de melhoria contínua se preocupam em se antecipar a esses eventos, que podem estar relacionados, por exemplo, a uma quebra na linha de produção, mudanças de produtos na linha de produção, melhorias de eficiência energética, de processos produtivos, de processos de compras, qualidade e serviço (NAKAJIMA, 1989).

Os elementos tecnológicos da I4.0 ajudam as empresas a ter maior velocidade no recebimento e trato das informações o que, consequentemente, reduz o tempo entre o evento e a ação de resposta, conforme ilustra a Figura 5. As tecnologias implementadas para auxílio nas fases A, B, C e D possibilitam reduzir a latência inerente dessas etapas, resultando numa maior agilidade de resposta aos eventos ocorridos nas fábricas. Tal agilidade trará ganhos de produtividade, performance, disponibilidade e qualidade, que são indicadores-chave para o sucesso de qualquer manufatura (SCHUH, 2017).

Figura 5 – Elementos Tecnológicos da I4.0 Aceleram o Processo de Decisão e Ação na Solução de Eventos de Fábrica



Fonte: Autoria própria – adaptado de ACATECH (SCHUH, 2017)

2.4. Os 6 Princípios da Indústria 4.0

A I4.0 possui alguns princípios importantes que serão abordados nesse tópico. Tais princípios auxiliam no direcionamento das fábricas para a jornada da implementação da I4.0.

2.4.1. Interoperabilidade

A interoperabilidade é o princípio em que todos os elementos da cadeia produtiva, incluindo sensores, máquinas, dispositivos móveis e as pessoas estão conectados e comunicam-se de forma transparente uns com os outros frequentemente. Refere-se à capacidade dos sistemas em se conectar com outros sistemas através de protocolos de comunicações padronizados. Para isso esses dispositivos, máquinas, objetos e pessoas precisam ser capazes de se comunicar através da Internet das Coisas e da Internet das Pessoas. Este é o princípio mais essencial que realmente torna uma fábrica inteligente. Na agroindústria por exemplo, existem diversas aplicações de sensores em animais, equipamentos,

máquinas, interligados às informações de previsão do tempo, fluxo das estradas e portos, alertando o produtor em tempo real sobre o melhor horário para o plantio, para desmamar o bezerro, para transportar a colheita etc. Quando a indústria alcança esse nível de comunicação e conectividade, ela está exercendo o princípio da interoperabilidade (PAPAZOGLU, KRAMER e ELGAMMAL, 2018).

2.4.2. Virtualização

Fazer simulações é uma das principais características de uma fábrica inteligente. Os CPS's devem ser capazes de simular e criar uma cópia virtual do mundo real. Não é apenas a utilização de um sistema supervisorio, tecnologia desenvolvida na Indústria 3.0, mas o princípio da Virtualização propõe a existência de uma cópia virtual da fábrica, conhecida como "Gêmeo Digital", que permite visualizar processos e produtos de forma remota. Com a inclusão de novas tecnologias, como Realidade Virtual e Realidade Aumentada, esse princípio é potencializado, pois gera a capacidade de experimentações bem realistas em um ambiente virtual controlado, dando a capacidade para os engenheiros da fábrica de utilizar essas simulações até encontrarem a melhor forma de executar algum processo, projeto ou atividade de forma segura e assertiva. A Virtualização é um dos mais importantes princípios da I4.0 porque permite ver e fazer coisas que não eram possíveis no passado (BRETTEL, FRIEDERICHSEN, *et al.*, 2014).

2.4.3. Descentralização

A capacidade dos CPS's de trabalhar de forma a integrar diversos sistemas da indústria inteligente, alinhada com o princípio da interoperabilidade, torna possível uma maior descentralização, pois as áreas recebem dados em tempo real independentemente de onde estão operando e de forma descentralizada podem tomar as melhores decisões das informações extraídas desses dados (BANGEMANN, 2016).

Esse princípio estimula que por mais que todos os sistemas estejam conectados, existe a liberdade de atuação em determinada parte do processo. Tal premissa, gera velocidade na atuação pois não precisa centralizar todas as decisões em um sistema de gestão central (BRETTEL, FRIEDERICHSEN, *et al.*, 2014).

Na I4.0 é utilizado o processamento de borda, que é capaz de executar e tomar decisões autônomas nos processos que estão inseridos, deixando decisões de alto nível e estratégicas para um *Big Data* capaz de processar informações de uma visão mais ampla possibilitando um ambiente de produção muito mais flexível. Essa abordagem gera otimização de custos com o processamento de borda, que possibilita maior velocidade para adaptações no processo fabril que são fundamentais para a maior personalização de produtos (MEISSNER, ILSSEN e AURICH, 2017).

Em casos de falha ou com metas conflitantes, o problema é delegado a um nível mais alto. No entanto, mesmo com essas tecnologias implementadas, a necessidade de garantia de qualidade é um requisito em todo o processo. Quanto mais descentralizada a inteligência nas indústrias, mais rápidos os sistemas podem tomar decisões sobre como melhorar suas tarefas.

2.4.4. Capacidade de tempo real

Para ser considerada uma fábrica inteligente, é necessário possuir de forma ampla a capacidade desse princípio. Ter capacidade em tempo real requer coletar dados em tempo real, armazená-los, analisá-los e assim tomar decisões baseadas nas informações e descobertas desse processamento. Isso não se limita apenas à pesquisa de mercado, preferências dos consumidores, impacto de micro e macrotendências, mas também a processos internos, como a falha de uma máquina na linha de produção, disponibilidade de estoques, capacidade de distribuição e logística. Os objetos inteligentes devem poder identificar o defeito e delegar novamente as tarefas a outras máquinas operacionais, tal capacidade contribui muito para a otimização e flexibilização da produção (HERMANN, PENTEK e OTTO, 2016).

Além disso, esse princípio da I4.0, gera a capacidade de se ajustar à acontecimentos, com decisões baseadas na integração entre os diversos sistemas e a reagir de forma assertiva aos problemas da cadeia produtiva. Integrando totalmente áreas como vendas, marketing, financeiro, operacional etc., as indústrias com essa integração de sistemas possuem muitos dados em tempo real e tal disponibilidade de informação as auxilia a alocar da melhor forma seus recursos e energia (HERMANN, PENTEK e OTTO, 2016).

Empresas como a *Amazon*, por exemplo, utilizam desse recurso de informação em seu processo de distribuição e entrega, a empresa estoca os seus produtos de forma aleatória nas prateleiras de seus centros de distribuição. Dessa forma, são criadas várias rotas de abastecimento e o algoritmo que “enxerga” a informação das diversas localizações do mesmo item pode calcular a rota mais rápida de abastecimento. Se todos os produtos iguais estivessem estocados na mesma prateleira ou localização, como acontece com a maioria das empresas, o computador teria muito menos opções de rotas rápidas para mostrar ao humano ou robô que fosse coletar os pedidos (HERMANN, PENTEK e OTTO, 2016).

2.4.5. Orientação para Serviço

A orientação para serviço é mais um dos princípios da I4.0 sendo um dos maiores desafios da nova indústria. Cada vez mais a produção deve ser orientada ao cliente, e para tanto, os dispositivos, objetos, sensores, aplicativos devem estar conectados através da Internet de Serviços e assim criar soluções e produtos com base nas informações em tempo real de tendências, comportamentos e outras (FREUND, 2017), (BAUER, 2018).

A Internet dos Serviços é, de forma ampla, a geração de serviços atrelados à Internet das Coisas. Partindo da premissa básica de que a IoT envolve comunicação constante entre máquinas e máquinas e entre máquinas e humanos, quanto mais inteligente fica a “coisa”, ou seja, o produto, mais as empresas podem atrelar um serviço a ela, agregando mais valor ao usuário final. Na prática, uma empresa comercializa elevadores com sensores que enviam dados para a nuvem e essas informações são analisadas em tempo real. Assim, essa mesma empresa, adicionalmente, tem condições de oferecer um pacote de serviços de manutenção preditiva (HOFMANN e RUSCH, 2017), (BAUER, 2018).

2.4.6. Modularidade

Com o princípio da modularidade, a fábrica do futuro será capaz de responder rapidamente às variações de demandas e às necessidades do mercado. Considerando que os consumidores estejam conectados aos sistemas e que a produção seja ajustada com base nas informações extraídas e processadas em tempo real, aumenta-se a necessidade de responder às novas necessidades ao

tempo todo. Para tanto, a capacidade de ser modular é vital. Vivemos em um mercado dinâmico, e poder se adaptar com velocidade é essencial. Tradicionalmente as empresas são lentas nos processos de mudanças e isso faz com que elas percam faturamento, posicionamento, preferência e consumidores. Com um mundo cada vez mais ágil, possuir capacidade de atender às novas necessidade ativando módulos de produção de acordo com a demanda ou necessidade faz da indústria do futuro a fábrica certa para o momento certo (HERMANN, PENTEK e OTTO, 2016).

Na Primeira Revolução Industrial, o número de produtos, concorrentes, soluções era bem pequeno, os consumidores não tinham tanta opção de escolha, e as fábricas produziam em massa o mesmo produto com a certeza de que mais cedo ou mais tarde seriam vendidos (SOUSA e NEVES, 2019).

Agora na Quarta Revolução Industrial, existe um cenário bastante diferente e o princípio de Modularidade da I4.0 corrobora em se ter uma produção mais centrada na personalização. É como voltar à época dos artesãos, só que mantendo uma escala competitiva da industrialização. Fazendo o uso do princípio da Interoperabilidade, onde tudo é cada vez mais integrado e conectado, a quantidade de dados disponíveis nas indústrias será cada vez maior, permitindo que a produção seja cada vez mais personalizada ativando os módulos responsáveis por tarefas diferentes, ou adicionando e retirando etapas de processo de um produto gerando a customização tão desejada pelos novos consumidores.

2.5. As Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0

Nesta seção serão abordadas as principais tecnologias habilitadoras da I4.0, que são fundamentais para a consolidação desse novo paradigma. É importante frisar esse conceito pois, como já tratado no **Capítulo 1**, observando-se história das Revoluções Industriais, foram as novas tecnologias de cada época que trouxeram os ganhos de produtividades, mudanças nos processos fabris e impacto em todos os setores da sociedade.

Diante do exposto, pode ser observado que a I4.0 se tornou um objetivo a ser alcançado estrategicamente para as indústrias que precisam permanecer no mercado e para as indústrias que desejam tornar-se competitivas.

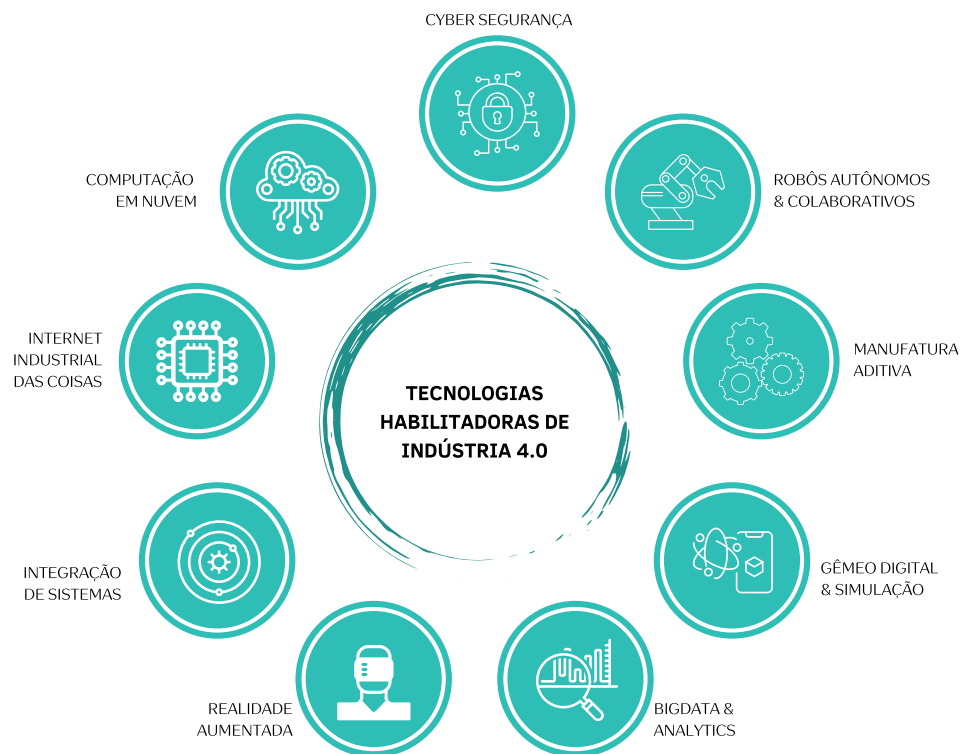
Segundo Posada (2015), há um enorme número de tecnologias que chegaram a um nível de consolidação e que agora podem ser utilizadas na indústria: IoT, IoS, automação industrial, conectividade e informações onipresentes, ciber-segurança, inteligência robótica, gerenciamento (ou gestão) do ciclo de vida do produto (do inglês, *Product Lifecycle Management - PLM*), tecnologia semântica (análise de informação) e *big data* industrial.

Segundo Stark (2015), o PLM, utilizando a tecnologia de Gêmeo Digital, gerencia desde a concepção do produto até sua retirada do mercado de forma ágil. Esse ciclo de vida inclui todas as etapas de um produto, sendo: conceito, desenvolvimento, produção, ordem, transporte, reciclagem e serviços associados. À medida que se obtém dados de todas as etapas do ciclo de vida do produto, é possível identificar novas possibilidades para o desenvolvimento de novos produtos baseados na análise desses dados, e isso é pré-requisito da I4.0 (RAJNAI e KOCSIS, 2018) (BANGEMANN, 2016).

Uma vez que os consumidores se tornam mais exigentes e querem produtos cada vez mais customizados, significa que existe uma redução do ciclo de vida, e com isso a necessidade de inovação e de novos lançamentos de produtos. Tal comportamento de mercado exigirá uma produção cada vez mais flexível, sendo necessárias frequentes alterações nas máquinas e ferramentas das linhas de produção para adequá-las aos novos produtos. Para isso tornar-se uma realidade, Weyer et al. (2016), aponta que o modelo tradicional de automatização deve ser mudado, e o pensamento de flexibilidade impulsionado (WEYER, MEYER, *et al.*, 2016).

Uma pesquisa do Boston Consulting Group (BCG) identificou 9 tecnologias habilitadoras para a i4.0, apresentadas na Figura 6 (THE BOSTON CONSULTING GROUP (BCG)., 2015).

Figura 6 – As Tecnologias Habilitadoras da I4.0



Fonte: Autoria Própria - adaptado de The Boston Consulting Group (THE BOSTON CONSULTING GROUP (BCG)., 2015)

a. Soluções Avançadas de Fabricação (Robótica Avançada)

As soluções avançadas de fabricação podem ser entendidas como sistemas produtivos interconectados e modulares, portanto, altamente flexíveis e de alto desempenho. Entre as principais tecnologias de fabricação avançadas, encontra-se a robótica com a solução de robôs autônomos e colaborativos. De acordo com Wan et al., (2017), os veículos automaticamente guiados (*Automated Guided Vehicles – AGV's*) tem chamado atenção por sua automatização e pelo seu baixo custo. Esses equipamentos são guiados por tecnologia laser, sensores e WiFi se deslocando pela indústria autonomamente, recebendo instruções dos CPS's e facilitando a mobilidade inteligente desses veículos (WAN, 2017). Dispondo dessa tecnologia as fábricas são capazes de fazer a movimentação interna dos materiais através de AGV's conectados aos sistemas de abastecimento de insumos, e a medida que o nível de estoque de insumos nos pontos de reabastecimento

reduzem, o sistema integrado dá o sinal para que os AGV's possam repor os estoques sem intervenção humana.

b. Manufatura Aditiva

Os sistemas de produção baseados em manufatura aditiva melhoram a eficiência de recursos materiais, como por exemplo numa impressora 3D conectada a ferramentas digitais de desenvolvimento de peças e partes mecânicas. A manufatura aditiva, ou impressão 3D (*3D printing*) como é comumente chamada, é uma técnica de fabricação através da adição de materiais em camadas justapostas para formar um objeto. Ela já está contribuindo para uma maior flexibilidade da indústria, trazendo novas soluções de produção ou formando uma nova cadeia de fornecimento, com redução de estoques e prazos de entrega mais rápidos, ou mesmo uma combinação de ambos (THE BOSTON CONSULTING GROUP (BCG)., 2015).

Para aplicações industriais, a modelagem e impressão 3D podem trazer a versatilidade e flexibilidade na geração de moldes, modelos de produtos inovadores, protótipos em tempo reduzido e peças de reposição. Os benefícios são muitos, como a redução de *lead time* de lançamento de produtos, prototipagem rápida, redução de custos ao longo da cadeia de valor e inovação. Nas aplicações industriais, ela pode gerar uma verdadeira revolução nos métodos de projeto (THE BOSTON CONSULTING GROUP (BCG)., 2015).

c. Realidade Aumentada e Realidade Virtual

O uso de sistemas de realidade aumentada para apoiar processos de produção permitem criar objetos virtuais que podem ser utilizados em ambientes reais e interagir com os operadores humanos (KANG, 2016).

A computação visual, ou computação gráfica, adiciona capacidades de digitalizar o físico, incluindo a simulação de máquinas, robôs, sensores e atuadores. A possibilidade de interagir com o físico a partir do digital, gera capacidade de monitoramento com a visualização em tempo real dos elementos nessas plataformas digitais. Essas tecnologias dão uma ideia da contribuição que a

computação visual pode dar, com objetivo de reproduzir e digitalizar o mundo físico (POSADA, 2015).

A realidade virtual (*Virtual Reality - VR*) e a realidade aumentada (*Augmented Reality - AR*) são duas tecnologias no âmbito da computação gráfica, mais precisamente no ramo das tecnologias de imersão, mas que possuem características diferentes na execução, e por isso mesmo possuem diferenças em suas aplicações em produtos e processos.

A VR permite a imersão do usuário em um ambiente virtual, permitindo simulações, testes e sensações, em tempo real, sem que para isso o usuário necessite entrar em contato com o mundo físico, emulado virtualmente. Isso permite a realização de atividades remotas e, através dos CPS's, a conexão entre os elementos no mundo virtual criado, podendo incluir estruturas, máquinas, produtos e pessoas (POSADA, 2015). Possui grandes aplicações para a digitalização da produção e interação com ambientes de difícil acesso ou ambientes em que não é possível a entrada ou permanência de seres humanos, ou ainda para testar condições de uso de produtos antes mesmo de serem produzidos.

Por outro lado, a AR reproduz os elementos do mundo virtual no mundo real, através da sobreposição de elementos gráficos digitais. Tem grandes aplicações nas áreas de projeto, onde objetos concebidos e projetados são inseridos nos ambientes reais, com função de orientação e testes. Também possui aplicações em processos, em que operadores podem ter orientação em tempo real para instruções e verificações das atividades através de dispositivos móveis.

Estas duas tecnologias são complementares e permitem diversas aplicações, que podem reduzir tempos de processos e desenvolvimento de produtos, aumentar a eficiência de processos, além de prevenir falhas ainda na fase de projeto. São tecnologias com enormes potenciais de desenvolvimento e podem ser integradas entre si, e a outras tecnologias, como os modelos de operação remota, tecnologias de aprendizagem de máquinas, e a IA, para criarem interação entre o mundo real e o mundo virtual (POSADA, 2015).

Para que a interação entre homens e máquinas seja harmônica e eficaz, é necessário que haja interfaces de comunicação entre o mundo físico e o mundo virtual, possibilitada por protocolos de comunicação e *softwares* visuais, sistemas supervisórios, e *softwares* embarcados nos equipamentos, produtos, e em

dispositivos móveis, que serão amplamente utilizados na manufatura avançada (THE BOSTON CONSULTING GROUP (BCG)., 2015).

d. Simulação

A simulação da operação de máquinas inteligentes e interconectadas tem por objetivo aumentar a produtividade e otimizar as operações, criando uma cópia virtual do mundo físico e possibilitando a tomada de decisões descentralizada. Essa abordagem facilita a comunicação e a cooperação entre máquinas e com os cooperadores em tempo real por intermédio da IoT (LU, 2017) (XU, 2017).

Xu et. al., (2017), relatam a implementação do ViDX (*Visual Diagnostics of Assembly Line Performance*), que é um sistema de análise visual abrangente, de grande relevância para este novo modelo de indústria. Ele suporta rastrear em tempo real o desempenho da linha de produção e ainda explora o histórico do banco de dados, identificando anomalias, além de formular hipóteses sobre causa e efeitos.

e. Integração Horizontal, Vertical e Ponta a Ponta:

A integração de informações e dados deve ser estabelecida entre todas as áreas da cadeia de suprimentos, desde os fornecedores até os usuários finais. De acordo com Pr-euveneers e Ilie-Zudor (2017), a I4.0, é fundamentada nos CPS's, que têm como papel monitorar, analisar e automatizar os processos industriais, sendo uma transformação para a produção e os processos logísticos.

Através do controle e a integração dos sistemas, os CPS's contribuem para a formação das Casas Inteligentes (*Smart Homes*), Edifícios Inteligentes (*Smart Buildings*), Rede Elétrica Inteligente (*Smart Grids*) e Cidades Inteligentes (*Smart City*) (JIRKOVSKY, OBITKO e MARIK, 2017).

A I4.0 não é somente o fato do uso individual de cada uma das novas tecnologias habilitadores, sendo importante considerar as formas que essas tecnologias podem ser integradas. Segundo Xu (2017), Wang et al. (2016) e Posada et el. (2015), a I4.0 possui a Integração Vertical e Horizontal.

- ❖ **Integração Vertical:** significa o conjunto de sistemas de produção em rede e permite que os CPS's sejam utilizados para criar sistemas de fabricação flexíveis e reconfiguráveis. Além disto, os CPS's tornam os objetos inteligentes (máquinas, produtos, dispositivos) que trocam informações de forma autônoma integrando a produção, sistemas de armazenagem e logística, estabelecendo a integração com o banco de dados (*Big Data*). A integração vertical ocorre em todas as camadas da pirâmide da automação, integrando a base dela formada por sensores e atuadores, com a camada de controle e supervisão operacional, com os sistemas de controle de produção e processo, com o nível de planejamento e coordenação geral da fábrica e, finalmente, com os sistemas corporativos da empresa.
- ❖ **Integração Horizontal:** é a integração das redes de valor, onde acontecem a troca e o gerenciamento de informações através da tecnologia (informações de diferentes agentes dentro do processo produtivo como por exemplo logística e a cadeia de valor). A integração do fluxo de informação é necessária ao longo da empresa horizontalmente, assim como além das fronteiras da indústria. Com essa integração é possível acompanhar as etapas do ciclo de vida do produto (por exemplo concepção do produto, fabricação e cliente). Além disso pode-se conectar os vários atores da cadeia de suprimento, isso é, conectar dados fornecidos pelos fornecedores de insumos ou embalagens, dados de transportadoras, dados da produção, dados dos sistemas de distribuição e finalmente dados dos clientes e consumidores, melhorando a qualidade do produto, o nível de serviço e atendimento, a percepção dos clientes e consumidores.
- ❖ **Integração Ponta a Ponta:** essa última integração nada mais é que unir as duas integrações anteriores.

f. Internet Industrial das Coisas

A Internet Industrial das Coisas (do inglês, *Industrial Internet of Things* – IIoT) consiste na comunicação multidirecional entre elementos de produção, tanto

internos como externos, através da internet, sendo de extrema relevância para a composição da I4.0.

Essa tecnologia tornou-se conhecida na primeira década do século 21 tendo como oportunidade a expansão para diversas funcionalidades e pode ser considerada a precursora da I4.0 (HOFMANN e RUSCH, 2017). Sensores, comunicação entre máquinas, *softwares* e protocolos de comunicação a serviço da coleta e análise de dados, são elementos que compõem a IIoT (KANG, 2016) (WEBER, 2017).

A integração dos elementos da IIoT com os CPS's é capaz de realizar a leitura das informações e o envio desses dados para os bancos de dados, reconhecidos com *Big Data*, processando rapidamente os dados extraídos desses sensores e de forma preditiva prevendo a ocorrência de falhas (WAN, 2017).

Para Roblek, Meško e Krapež (2016), através da integração das tecnologias CPS (*Cyber Physical System*), IoT (*Internet of Things*) e o IoS (*Internet of Service*), desencadearam-se mudanças no comportamento dos consumidores tais como produtos personalizados, empresas com contato direto com o cliente, prestação de serviço por aplicativo dentre outros. Além disso, esses autores afirmam que as organizações precisam entender que a tecnologia pode auxiliá-los na identificação de opiniões e de fatores que possam influenciar na tomada de decisão de um cliente referente a aquisição de um produto.

g. Computação em Nuvem

Essa tecnologia habilitadora consiste na implementação de soluções de computação em nuvem e técnicas de gerenciamento de dados em sistemas abertos, um modelo que permite acesso à rede de qualquer lugar, disponibilizando ferramentas da computação tais como servidores, armazenamento, aplicativos e outros serviços (BAUER, 2018).

A demanda dessa tecnologia tem aumentado de forma exponencial. De acordo com Wu, Terpenney e Schaefer (2017), houve uma previsão de gastos de 127 bilhões de dólares em serviços de armazenamento em nuvem para 2018, tendência que continua a crescer.

Existem alguns tipos de arquitetura dessa computação em nuvem, a fim de se adequar à melhor configuração e necessidade do cliente. A nuvem pública é mais

utilizada por prestadores de serviço, a nuvem privada é de exclusividade da empresa que a contratou, já a nuvem híbrida é a junção desses dois tipos de nuvens (REN, 2017).

h. Segurança Cibernética

A aplicação dessa tecnologia consiste em estabelecer novas regras de segurança para proteger os dados e os algoritmos de controle que estão cada vez mais expostos aos perigos da deficiência de proteção em conexões internas e externas. Por isso, é necessário estabelecer meios para se precaver contra os ataques de *hackers* melhorando os sistemas de segurança.

Como citado no tópico anterior, a utilização dos serviços de computação em nuvem tem aumentado e implicado no aumento das conexões externas. Portanto, é necessário um olhar diferenciado para a questão da segurança cibernética (FREUND, 2017).

Estudos como a criptografia leve têm sido de extrema relevância para a aplicação na IoT com o objetivo de fornecer segurança para as plataformas. Os requisitos básicos esperados para a criptografia leve são: a baixa ocupação de recursos e a obtenção de um alto nível de segurança (OZKAYNAK e MUHAMAD, 2017).

i. Análise de Big Data

O emprego de *Big Data* na I4.0 tem por objetivo fazer uso de meios de armazenamento e análise de grandes quantidades de dados para otimizar os processos de produção. Através desta tecnologia, a indústria torna-se capaz de processar uma enorme quantidade de dados em tempo real, sincronizando as informações das linhas e processos de produção aos fornecedores, clientes e vendedores que estão vinculados a cadeia produtiva (KANG, 2016). De acordo com Rezende (2005), essa grande quantidade de dados está sendo utilizada para a validação de informações, inclusive para fornecimento de crédito para os clientes.

Captar e processar os dados gerados pela indústria, analisando as variáveis de processos, aumentará a performance das fábricas inteligentes e ainda trará um impacto positivo para a qualidade do produto (SNASEL, 2017).

A era do *Big Data* está em todos os campos da atividade humana, como por exemplo na mídia social, trazendo a oportunidade para a medição de dados (IoT e dispositivos digitais inteligentes, por exemplo), a capacidade de armazenamento de dados (como a computação em nuvem), a tecnologia computacional inteligente que analisa os dados (*Big Data Analysis*) e a tomada de decisões de acordo com os dados disponíveis (IA, aprendizado de máquina, computação cognitiva, por exemplo) (LU, 2017).

Desta forma, a implementação dessas tecnologias que compõem os CPS's na I4.0, torna-se um grande desafio no cenário atual das indústrias. Em contrapartida, a indústria que investir no desenvolvimento tecnológico se manterá competitiva no mercado.

2.6. Os Níveis de Maturidade da Indústria 4.0

O principal modelo, existente na literatura, sobre a implementação da I4.0 é o Índice de Maturidade da ACATECH, modelo que visa dar as diretrizes necessárias para implementação da I4.0 em toda a empresa. Ele foi proposto por Schuh et al. (2017) e desenvolvido por ACATECH - *The National Academy of Science and Engineering* e tem como objetivo transformar a organização em um modelo ágil e de aprendizagem, permitindo a tomada de decisão rápida e a adaptação dos negócios em todas as áreas.

Como já mencionado, o presente trabalho tem o objetivo de centralizar o foco em estruturar um modelo para a aplicação da I4.0 no chamado "chão de fábrica", ou seja, no processo fabril das empresas, transformando-as em fábricas inteligentes. Nesse contexto, o conceito de nível de maturidade da indústria torna-se fundamental.

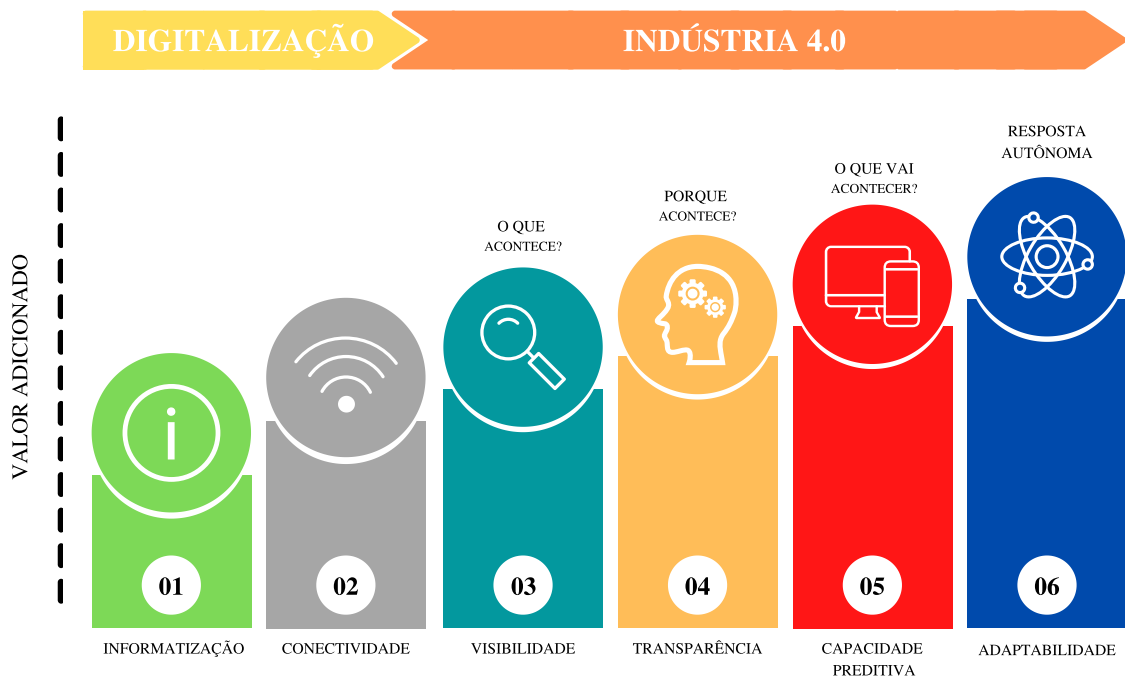
2.6.1. Modelo de Maturidade da ACATECH

Segundo IEDI (2018), a ACATECH foi pioneira e liderou o desenvolvimento de um modelo de avaliação da maturidade da I4.0 e afirma que seu modelo pode ser utilizado em 4 setores: Energia (*smart grids*); Mobilidade (mobilidade urbana); Saúde (diagnósticos remotos); Indústria de Transformação (Indústria e produção com sistemas inteligentes). A metodologia desenvolvida é resultado da formulação

de um roteiro digital para todas as áreas relevantes, bem como um passo-a-passo a ser alcançado, beneficiando os gestores quanto ao desenvolvimento estratégico (SCHUH, 2017).

De forma bem sucinta, o presente trabalho, explanará sobre cada nível de maturidade (Figura 7) de forma a dar um entendimento básico sobre eles.

Figura 7 – Níveis de Maturidade da I4.0 segundo a ACATECH



Fonte: Autoria Própria - adaptado de (SCHUH, 2017)

Informatização

Informatização é a primeira etapa no caminho de tornar uma indústria inserida plenamente no contexto da I4.0. Nesta etapa, é considerada a utilização de sistemas informatizados isolados para executar as tarefas da área, visando a extração dos dados de um processo produtivo.

No entanto, existe ainda um alto índice de obtenção desses dados de forma manual em muitos postos de trabalho, realizados por pessoas. Por mais que exista um certo grau de automatização, os parâmetros de máquinas são ajustados manualmente e a leitura de instrumentos de processos operacionais é capturada

pelos operadores, em outras palavras, a máquina não está conectada e não é possível fazer tais leituras e ajustes de forma remota (SCHUH, 2017).

Conectividade

Na etapa de conectividade é considerada a capacidade de acesso aos dados gerados pelos sistemas informatizados, ou seja, já é considerado que estes sistemas estejam operacionais e conectados entre si através de redes industriais.

Alguns benefícios da conectividade entre sistemas informatizados é a possibilidade de coleta de dados para um sistema MES (*Manufacturing Execution System*), que é o termo usado para designar os sistemas focados no gerenciamento das atividades de produção e que estabelecem uma ligação direta entre o planejamento e o chão de fábrica. A conectividade também gera a possibilidade de diagnóstico, via acesso remoto por exemplo.

Além da conectividade entre máquinas e equipamentos, ocorre a integração dos protocolos de comunicação que possibilitam a comunicação M2M (*Machine to Machine*). Nessa etapa já é possível a conectividade de alguns sistemas e *softwares*, mas a integração total das camadas de Tecnologia de Informação e Tecnologia de Operação ainda não ocorreu (SCHUH, 2017).

Visibilidade

Visibilidade é a capacidade de agregar e visualizar os dados gerados pelos sistemas informatizados e interconectados. Nesta etapa, pode ser utilizado o conceito de **“Gêmeo Digital”**, que consiste no espelhamento do ambiente físico em um ambiente digital virtual através da coleta e armazenamento de dados. O acesso a estas informações, somado a possibilidade de cruzamento com informações de outras origens, estabelece o conceito de visibilidade.

Através das informações geradas por sensores instalados em campo e disponibilizadas em painéis de controle, os usuários têm à sua disposição a visibilidade necessária para **entender o que está acontecendo** em seus processos ou linhas de produção (SCHUH, 2017).

Transparência

A etapa de transparência corresponde a capacidade de análise de correlação dos dados coletados, tendo como resultado a transformação dos dados do “Gêmeo

Digital” em informações relevantes. Nesse nível, é possível **entender por que algo está acontecendo** e usar esse entendimento para produzir conhecimento por meio de análises de causa raiz. O repositório de dados, também conhecido como *Big Data*, é usado para o processamento e centralização de todos os dados e algoritmos utilizados, para dar agilidade ao processo de entendimento das relações e interconexões desses dados combinados (SCHUH, 2017).

Capacidade Preditiva

Na etapa de capacidade preditiva, é considerada a capacidade de efetuar simulações futuras em diferentes cenários, e com isso poder identificar qual é o cenário mais provável, ou seja, projetar o “Gêmeo Digital” em diversos cenários futuros e, a partir dessas simulações, identificar qual cenário é o mais provável, tendo como resultado a capacidade de antecipar o futuro e assim poder implementar medidas mais apropriadas.

Nesse momento, a capacidade preditiva está presente e é possível identificar antecipadamente as falhas e entender quais potenciais problemas podem ocorrer no processo (SCHUH, 2017).

Adaptabilidade

A etapa da adaptabilidade considera a capacidade de usar dados do “Gêmeo Digital” para tomar decisões que tenham os melhores resultados no menor tempo possível, e implementar as medidas correspondentes automaticamente. Para tanto, os sistemas devem estar totalmente conectados e o nível de automatização deve ser bem elevado.

O objetivo da adaptabilidade é alcançado quando uma empresa é capaz de usar os dados do “Gêmeo Digital” para tomar decisões com base na capacidade de analisar fenômenos desconhecidos do histórico de operação da planta industrial e também planejar modificações e expansões no processo através de simulações mais realistas (SCHUH, 2017).

2.6.2. Outras Propostas de Modelos de Maturidade

Por mais que os níveis de maturidade elaborados pela ACATECH sejam pioneiros no desenvolvimento da I4.0, é importante explicar de forma rápida outras

propostas de avaliação de maturidade por outros autores. Com o auxílio de um modelo de maturidade, é possível identificar a situação atual da organização e propor uma abordagem para melhorar os processos. Normalmente os modelos de maturidade são utilizados para diversas aplicações. Desta forma, os modelos de maturidade possuem uma sequência lógica que incluem níveis ou estágios que formam uma sequência a ser desejada (SCHUMACHER, EROL e SIHN, 2016).

Modelo “Toolbox Workforce Management 4.0”: Esse modelo tem por objetivo analisar as competências e as condições de trabalho, com uma preocupação de abordar os fatores humanos na I4.0 (GALASKE, 2018). Sua abordagem se concentra em entender quais seriam as competências desse novo profissional dividindo-as em dois grupos: habilidades que necessitam a aplicação de conhecimentos mais técnicos, chamadas de *Hard Skills*, e habilidades relacionadas ao comportamento e postura dos profissionais, como por exemplo a habilidade de comunicação, liderança, relacionamento entre outras, denominadas de *Soft Skills* (BASSETO, 2019).

Outro elemento surge nesse modelo, a Usabilidade e Operabilidade, que mede o nível de habilidade dos profissionais em relação à facilidade de interação com as tecnologias, e o quanto é utilizado de novas tecnologias no processo de decisão.

Por fim, o modelo volta a atenção para o ambiente de trabalho, avaliando o nível de flexibilidade organizacional existente ao redor desses profissionais, além de entender se há incentivo de treinamento contínuo (BASSETO, 2019).

Modelo “DREAMY - Digital Readiness Assessment Maturity Model”: Esse modelo tem por objetivo analisar em que nível de adoção de novas tecnologias está a empresa avaliada (CAROLIS, 2017). O modelo aborda quais os pontos fortes e fracos em relação à tecnologia e um conjunto de oportunidades oferecidas às empresas quanto à transformação digital, considerando cinco áreas principais dentro de uma indústria:

- ❖ Design e Engenharia;
- ❖ Gestão da Produção;
- ❖ Gestão da Qualidade;
- ❖ Gestão da Manutenção;

❖ **Gestão da Logística.**

Da mesma forma que outros modelos de maturidade, o modelo *DREAMY*, avalia as áreas utilizando um questionário estruturado olhando para **4 dimensões**: Processo; Monitoramento e Controle; Tecnologia e Organização (BASSETO, 2019).

Modelo “Indústria 4.0-MM”: Esse modelo tem por objetivo analisar aspectos de Tecnologia de Informação e Automação dentro da Indústria (GÖKALP, 2017). Ele estabelece **5 dimensões**:

- ❖ **Gerenciamento de Ativos:** corresponde aos sistemas de TI da organização e aos recursos tecnológicos, tais como, arquitetura orientada a serviços, computação em nuvem, segurança de TI, IoT e redes sem fio industriais.
- ❖ **Governança de Dados:** este nível investiga o uso de coleta de dados, análise dos dados, ferramentas de *Big Data* e serviços orientados por dados.
- ❖ **Gerenciamento de Aplicativos:** a utilização de aplicativos para a I4.0 é necessária, e desta forma, esta dimensão aborda as interfaces e o fluxo de informações de aplicativos que devem ser estruturados, conectados, padronizados, controlados e interoperados (capacidade de um sistema se comunicar com o outro).
- ❖ **Transformação do Processo:** esta dimensão aborda os processos básicos quanto ao sistema corporativo que envolve: Planejamento, Aquisição, Produto, Venda e Distribuição.
- ❖ **Alinhamento Organizacional:** corresponde a gestão das empresas quanto ao desenvolvimento da estrutura organizacional e sobre a estratégia de negócio (BASSETO, 2019).

Esse modelo está estruturado em 6 Níveis de maturidade:

Nível 0 (incompleto), é quanto as práticas parcialmente alcançadas ou que não há implementação;

Nível 1 (realizado), práticas correspondentes são alcançadas, bem como a transição da infraestrutura para a I4.0, mas essa transição não foi totalmente implementada;

Nível 2 (gerenciado), é descrito como a iniciação de dados coletados, mas que ainda não está integrada nas diversas operações;

Nível 3 (estabelecido), é caracterizado como atividades de negócio, definição de operações de valor agregado, qualificações das operações e processos com a padronização correspondente nestes requisitos, além da sincronização das informações, armazenamento dos dados coletados, integração vertical, através de sensores e atuadores, o sistema ERP (do inglês, *Enterprise Resource Planning*) foi implementado;

Nível 4 (previsível), este quesito contempla a integração horizontal, incluindo a integração da produção na rede, bem como a integração da cadeia de abastecimentos (informações são disponibilizadas em tempo real);

Nível 5 (otimizado), é a integração com a engenharia e o ciclo vida do produto, compartilhando e sincronizando o uso das informações em tempo real (BASSETO, 2019).

Modelo “Maturity Model for Data-Driven Manufacturing- M2DDM”: O modelo M2DDM, proposto por Weber et al. (2017), consiste em seis níveis que são representadas da seguinte forma:

Nível 0 - Integração de TI inexistente: Nível base, sem qualquer conectividade, neste nível **não estão integrados** os equipamentos de fabricação, como máquinas, ferramentas e peças de trabalho;

Nível 1 - Integração de dados e sistemas: existe a integração dos dados de máquina à uma plataforma de MES (*Manufacturing Execution System*), as ordens de produção são gerenciadas por ERP, existindo conexão entre MES e ERP;

Nível 2 - Integração de dados entre ciclos de vida: nesse nível, a integração dos dados entre os sistemas é aumentada, pode-se ter os dados

de produção integrados aos dados de negócios, como pós-venda, logística e nas mídias sociais, não sendo necessário que todos os dados sejam adquiridos de forma automática;

Nível 3 - Orientação para Serviço: nessa etapa é criada a possibilidade de comunicação de dados entre as fábricas e os clientes, com o objetivo de melhoria no nível de serviço ao cliente, eliminando falhas de comunicação;

Nível 4 - Digital Twin: aqui se estabelece o Gêmeo Digital, capaz de receber dados de múltiplos ativos, sistemas, entidades, com grande poder de simulações. É estabelecida a plataforma central de decisões, permitindo intervenções nos ativos instalados em toda a cadeia de suprimentos;

Nível 5 - Fábrica Auto-otimizada: este nível possui análise avançada em tempo real integrada ao *feedback* entre trabalhadores e máquinas (permite também uma autoaprendizagem) com o auxílio de sensores, *Big Data*, sistema em nuvem e demais tecnologias da I4.0 (BASSETO, 2019).

Essa visão geral sobre os modelos pesquisados traz alguns “*insights*” importantes para o presente trabalho. De forma simples eles classificam a maturidade da I4.0 em níveis e estabelecem dimensões para definir áreas dentro dos estudos de maturidade. Todos possuem uma abordagem semelhante associando a cada nível de maturidade o aumento do uso de tecnologia e os aspectos de desenvolvimento dos profissionais para que isso seja possível. Questionários de avaliação são a ferramenta comum em todas essas propostas de avaliação, no entanto, não foi encontrada a publicação desses questionários e não estão disponíveis para a utilização. Como já foi mencionado anteriormente, o modelo do Índice de Maturidade da ACATECH é o pioneiro entre essas propostas de avaliação e por esta razão, o mais estudado, sendo o modelo direcionador para o desenvolvimento dessa pesquisa.

2.6.3. Considerações sobre a Fundamentação

Com base no que foi exposto no decorrer deste capítulo, é possível verificar todo o contexto da I4.0 e sua relação com as revoluções industriais e o cenário

mundial. Além disso, foi trazida luz aos benefícios que a I4.0 proporciona, bem como sua importância para:

- ❖ Aumento de produtividade;
- ❖ Disponibilidade de dados em tempo real;
- ❖ Continuidade de negócios e manutenção avançada;
- ❖ Melhoria das condições de trabalho e meio ambiente;
- ❖ Personalização de produtos;
- ❖ Melhoria da agilidade.

Na seção 2.4 foram explanados os Princípios da I4.0 e exemplos de cada um desses princípios na indústria. Após entender esses princípios, foram revisados com detalhes os níveis de maturidade da ACATECH, além de apresentar um breve resumo de outros modelos de avaliação de maturidade da I4.0.

3. METODOLOGIA

A metodologia que será aplicada nesse estudo busca associar a abordagem teórica e prática de adoção de novas tecnologias, explanadas na Seção 2.5, no ambiente fabril usando a oportunidade de testar a implementação das tecnologias habilitadoras em uma linha de produção modelo e reunir todo o aprendizado.

Como resultado será proposto um modelo, um *framework*, que estrutura os aprendizados e serve como ferramenta para auxiliar os profissionais a avançarem nos níveis de maturidade da I4.0 nas empresas brasileiras. Ao testar as tecnologias em laboratório e na linha modelo de estudo de caso, é possível capturar informações desde como escolher a tecnologia mais apropriada, verificar os erros cometidos, determinar as informações mais relevantes desse desenvolvimento e, a partir disso, escrever um modelo de gestão para a aplicação de projetos para a introdução de novas tecnologias em processos industriais no contexto da I4.0.

Segundo Thoben, Wiesner e Wuest (2017), este novo modelo de indústria envolve diferentes áreas, tais como engenharia de produção, engenharia mecânica, engenharia elétrica e ciência da computação. Sendo assim, para o desenvolvimento deste trabalho, será necessário uma pesquisa multidisciplinar e multiáreas para que seja efetiva.

Dessa forma, o presente estudo, buscou fundamentos teóricos, apresentados no Capítulo 2, com o objetivo compreender e descrever a I4.0, as tecnologias habilitadoras e os modelos de maturidade a fim de ajudar na construção de um modelo para a introdução das novas tecnologias em processos industriais.

3.1. Estudo de Caso

O modelo para aplicação de novas tecnologias em processos industriais no contexto da I4.0 aqui apresentado foi escrito posteriormente à execução de testes de implementação das novas tecnologias, reunindo assim todos os aprendizados, "*learnings of experience*", organizando-os de forma mais estruturada, especificando as boas práticas, dividindo por etapas e de forma lógica, a fim de direcionar novos projetos a profissionais que queiram fazer a gestão de novos projetos de uma forma mais orientada.

Aplicar novas tecnologias em qualquer contexto é sempre um desafio por mais que elas sejam o instrumento pelo qual os benefícios serão adquiridos. Contudo, em uma revisão bibliográfica, Martinez et al. (2016), ao analisar 531 resumos de publicações relacionadas ao tópico I4.0, constatou-se que a palavra-chave “*technolog**” aparece somente em 50% dos resumos, e ao buscar outras palavras-chave como IoT, CPS, AR, Manufatura Aditiva e *Cloud*, referidas no tópico 2.5, muitas delas nem aparecem nos resultados.

Conclui-se que, por mais que as tecnologias chamadas de habilitadoras da I4.0, como Impressão 3D e AR, sejam indispensáveis para o avanço da maturidade da I4.0, quando relacionadas na pesquisa com a palavra tema I4.0, o resultado mostra que ainda estão desconectadas (THE BOSTON CONSULTING GROUP (BCG)., 2015). Esse é um dos motivos pelo qual existe uma certa dificuldade de aplicar as novas tecnologias no contexto da indústria, fortalecendo o objetivo da criação de um modelo para auxílio nessa tarefa, pois há uma certa carência de artigos que evidenciam o resultado e o impacto do uso dessas tecnologias.

No presente trabalho, os experimentos realizados para aplicar as novas tecnologias em uma linha de produção modelo foram descritos em detalhes, e o aprendizado registrado de forma estruturada, elaborando-se assim um conjunto de etapas de processo para o desenvolvimento de um modelo capaz de ser reaplicado em outras linhas de produção e diferentes segmentos da Indústria.

Fóruns de discussão constituem ferramentas valiosas para se reunir profissionais experientes de uma determinada área de conhecimento, trocar experiências e determinar necessidades e carências em relação às tecnologias vigentes. Neste trabalho foram constituídos dois fóruns de discussão. O primeiro deles visou o estabelecimento de um canal de comunicação com profissionais de mercado, com o objetivo de realizar uma rotina de discussões e manter um canal de comunicação, coletando dois principais *inputs*:

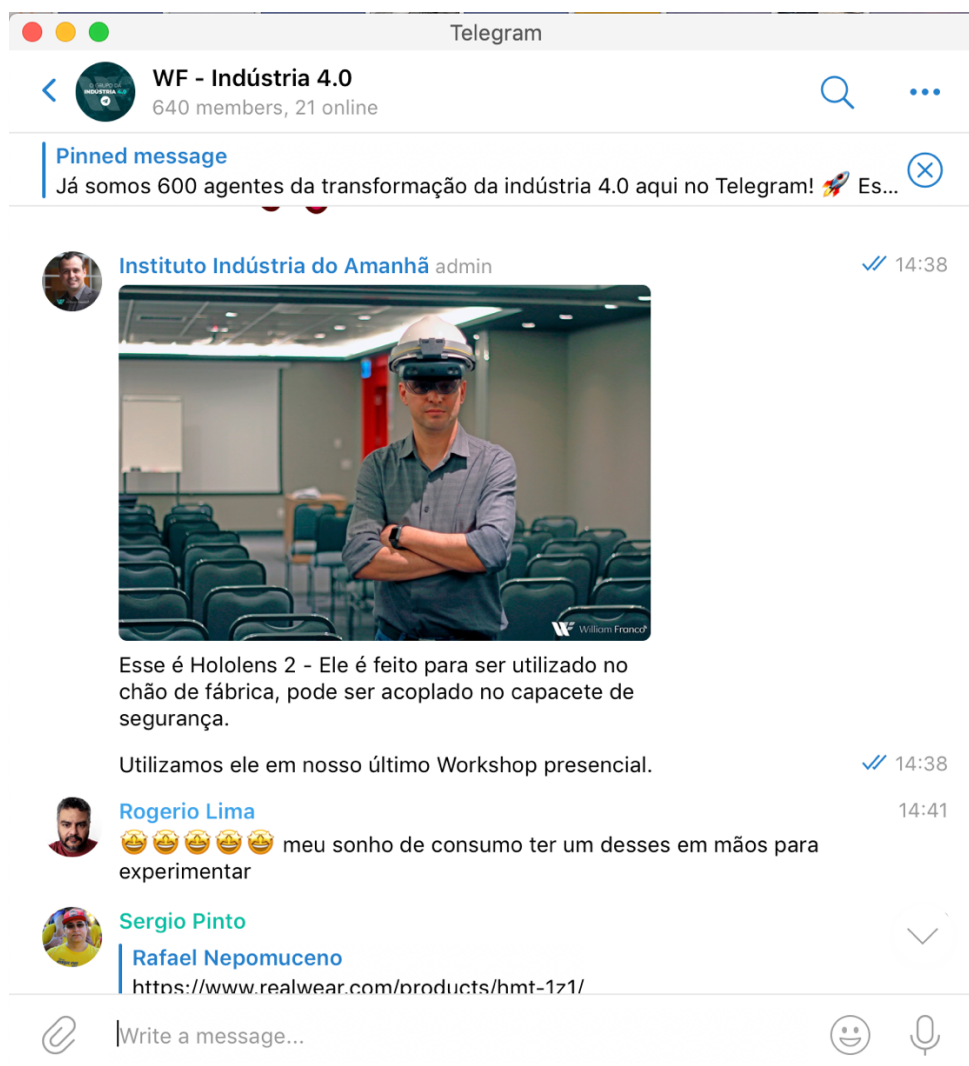
- ❖ Quais são as principais dificuldades para a implementação de projetos com a adoção das novas tecnologias?
- ❖ E, quais são os resultados gerados após essa implementação?

Esses temas discutidos nos fóruns de comunicação geram informação relevante, bem como, exemplos de testes realizados por dezenas de profissionais

que serão utilizados como insumos para a construção do modelo proposto nesse trabalho.

A ferramenta escolhida para a viabilização desse formato de discussões foi o aplicativo de mensagens, Telegram. Foi criado o **Grupo WF da I4.0** (Figura 8), que tem auxiliado na captura das informações e das chamadas “dores” de profissionais que estão no mercado e querem adotar as novas tecnologias da I4.0 em suas empresas.

Figura 8 – Grupo WF da I4.0 no Telegram



Fonte: Autoria Própria

Após a criação desse grupo, que em outubro de 2020 contava com mais de 730 participantes, as questões e dúvidas sobre a I4.0 levantadas são lançadas para discussão que de maneira cíclica voltam a serem indagadas para os eventuais novos membros que se achegarem ao grupo.

Para um maior entendimento do perfil dos integrantes do Grupo, foi feita uma pesquisa que está publicada na seção 3.5 desse trabalho.

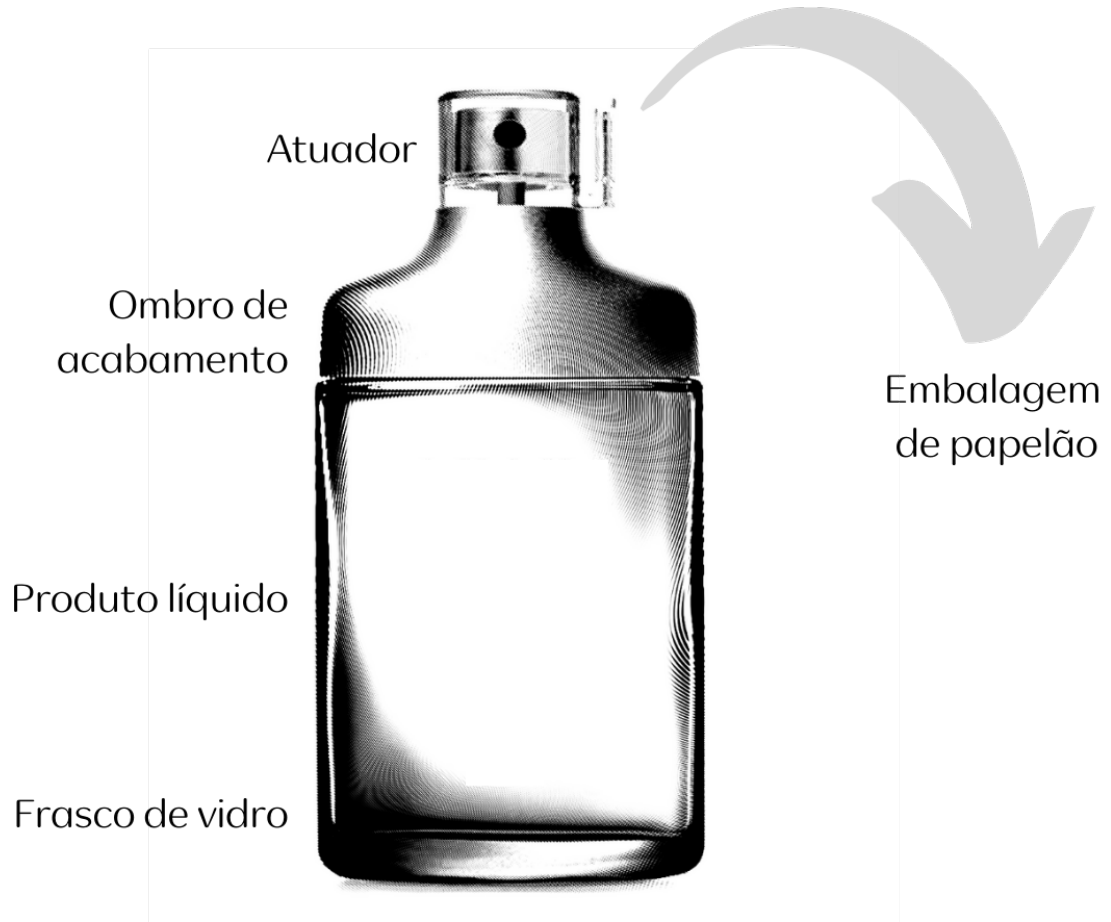
Além desse fórum realizado pela ferramenta Telegram, composto fundamentalmente por especialistas externos, foi estabelecido um **Grupo de Trabalho na Empresa (GTE)**, com o intuito de atuar no desenvolvimento prático dos testes e aplicações das tecnologias na linha modelo. A empresa que forneceu o estudo de caso para o desenvolvimento dessa pesquisa é uma multinacional brasileira fabricante de cosméticos e que atualmente é a quarta maior empresa do mundo nesse seguimento. Foram estabelecidas reuniões presenciais semanais com a equipe atuante do projeto, de modo que toda troca de informação, status de implementação, testes de ideias, fossem capturados. Outro fator importante é tentar entender os impactos que tais tecnologias causam nos resultados e desempenho da linha de produção, portanto é importante definir quais serão os principais indicadores de performance (*KPI - Key Performance Indicator*) a serem adotados para estabelecer a linha de base inicial de resultados para serem confrontados posteriormente após a implementação dos projetos.

3.2. Objeto de Estudo

As linhas de produção na indústria são formadas por postos de trabalho que, em alguns casos, são ocupados por pessoas e em outros casos, máquinas e equipamentos são responsáveis por realizar a tarefa de trabalho. Após a formatação do objetivo e a forma de atuação do GTE no projeto, a empresa onde este trabalho foi realizado disponibilizou uma linha modelo para os testes, colocando-a na vanguarda dos estudos de implementação das tecnologias da I4.0 no Brasil.

O estudo de caso foi centralizado na linha de produção de perfumes chamada, (**G#03**). Essa linha de produção é responsável pelo processo de envase de perfume, produto formado por vários materiais montados até chegar no resultado final para venda. O produto é composto pelos materiais apresentados na Figura 9.

Figura 9 – Materiais que compõem o produto

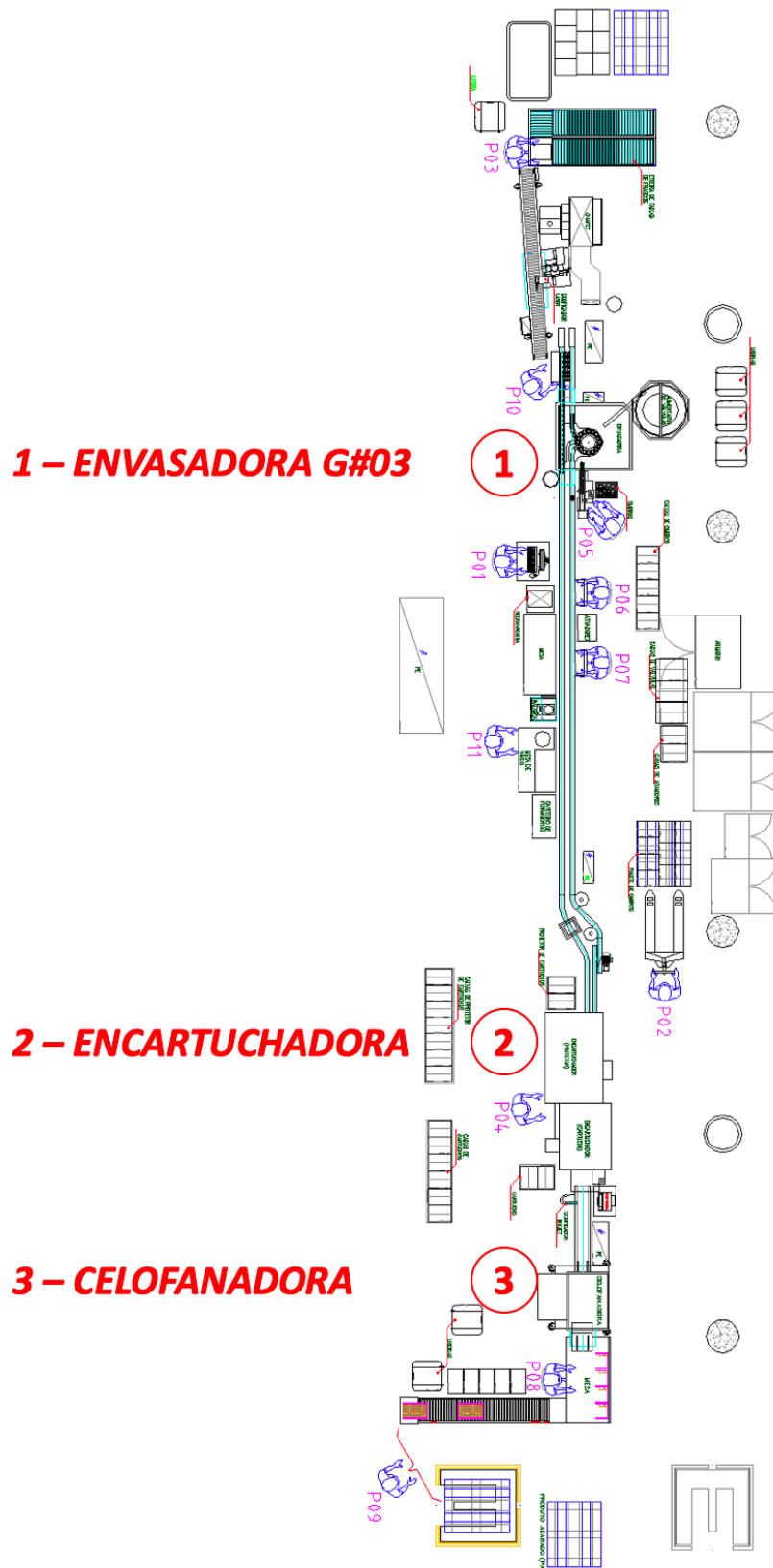


Fonte: Autoria Própria

Ao final do processo, os produtos são acondicionados em uma caixa de papelão para embarque e transporte logístico do item para os Centros Logísticos de Distribuição de produtos.

A linha de produção, responsável pelo processo de envase desse produto, possui cerca de 30 metros de comprimento, e 6 metros de largura, ocupando uma área de 180 metros quadrados. A linha é composta por 11 postos de trabalho (P01 a P11), por máquinas e equipamentos conforme mostrados na Figura 10.

Figura 10 – Layout da linha (G#03)



Fonte: Arquivo Interno

Os postos de trabalho nessa linha produção, possuem tarefas manuais e em algumas etapas do processo as máquinas são responsáveis por algumas etapas de montagem do produto. Esse modelo híbrido de linha produção, com tarefas automáticas e manuais, é comum no cenário industrial do Brasil. Portanto, espera-se que os aprendizados adquiridos nesse objeto de estudo possam ser reaplicados em um outro processo industrial similar.

A linha de produção possui 3 máquinas, conforme *layout* na Figura 10, descritas pelos círculos vermelhos de 1 a 3. As máquinas são interligadas por esteiras que transportam as peças dos produtos até serem finalizados. As máquinas são:

1- ENVASADORA – é a máquina responsável em adicionar o líquido dentro do frasco de vidro de produto, posteriormente colocar a válvula spray e montar o “ombro” de acabamento da embalagem.







2- ENCARTUCHADORA – é a máquina responsável por montar a embalagem protetora do frasco e introduzi-lo no cartucho de papelão.

3- CELOFANADORA – após os frascos estarem no cartucho de papelão, eles são direcionados à celofanadora que aplica um filme plástico envolvente no produto acabado.

Como já mencionado, a linha de produção possui **11 postos de trabalho**, alguns deles operam e alimentam de insumos nas máquinas da linha de produção, e outros adicionam de forma manual alguns componentes para a formação do produto final.

Para melhor visualização das atividades dos postos de trabalho, foi criado um formulário que detalha o fluxo e os postos de trabalho na linha de produção do estudo de caso. Nesse fluxo, todas as atividades e postos de trabalho foram listados e classificados conforme os símbolos da Figura 11.

Figura 11 – Classificação das Atividades do Postos de Trabalho

					
Abastecimento Retirada	Movimentação	Processamento	Inspeção	Retrabalho	Rejeito Contenção

Fonte: Autoria Própria

Na Figura 12 é apresentado todo o fluxo de atividades e postos de trabalho. Esse levantamento foi obtido através de observação direta, apontando em uma planilha as atividades e a classificação de cada posto de trabalho. Para garantir eficiência operacional, o estudo de classificar cada um dos postos ajuda a entender se é um posto que possui valor agregado, isso é, que está relacionado com o processamento (símbolo \diamond no fluxo de atividades). Todos os demais símbolos são encarados como desperdício ou perda. Portanto, a classificação auxilia no entendimento de quais postos são importantes para essa eficiência.

Após a classificação, pode-se observar um mapa de quais posições de trabalho agregam valor e quais não agregam valor. Esse mapa é uma excelente ferramenta para ajudar no processo de priorização, pois auxilia no entendimento de quais postos de trabalho necessitam de melhoria.

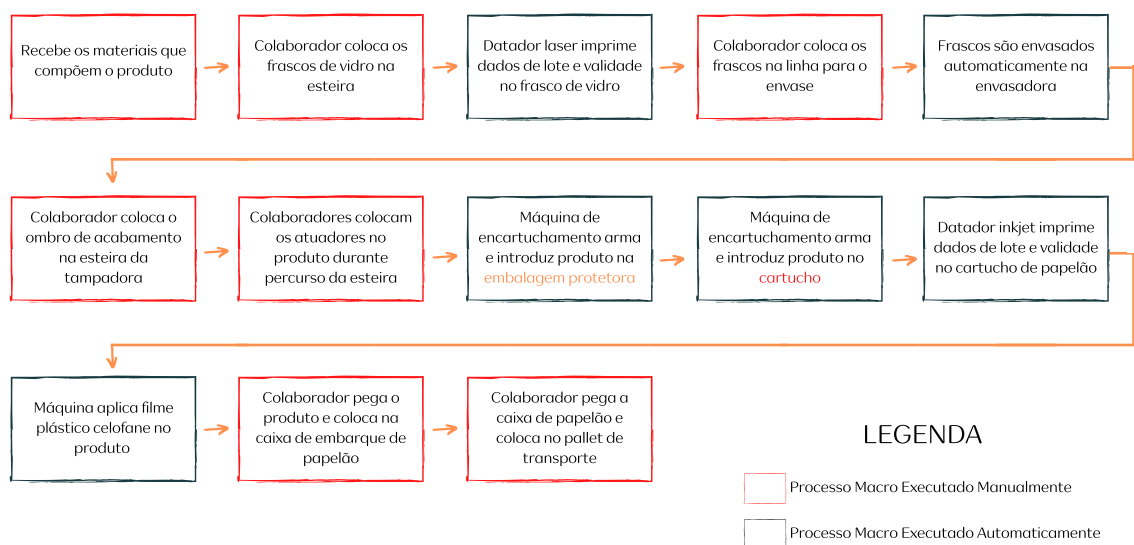
Figura 12 – Fluxo e Postos de Trabalho (G#03)

FLUXO E POSTOS DE TRABALHO										
FÁBRICA:		XXXXXX			SUBPROCESSO		ENVASE			
EQUIPAMENTO:		G#03								
FAMÍLIA:		XXXXXX								
DADOS PADRÃO - 100% RENDIMENTO										
Número de Postos de Trabalho			Produção Horária			Velocidade Padrão da Linha				
11			2400			40/por minuto				
Nº Seq Fluxo	Abastecimento Recarga	O	◇	☑	↺	🚫	Nº Seq Oper	Segurança	DESCRIÇÃO DE OPERAÇÃO	FUNÇÃO
10				X			10		Verificar sequência na folha de programação semanal	POSTO #1
20	X						10		Atividade realizada por GDM	GDM
30			X				10		Atividade realizada de acordo com a programação da linha e apontamento de troca de produto e set-up no Prodwin	POSTO #1
40							10		Verificar a situação do bulk na LS26, se está em qualidade ou liberado para envasar	POSTO #1
							20		Abrir a ordem de produção na transação md16	
							30		Pegar o padrão físico do item a ser produzido e colocar no local definido em linha	
							40	🚫	Sanitizar o equipamento	
			X	X		X	50		Liberar o bulk a ser envasado	
							60		Realizar a aferição da balança	
							70		Conferir o lote e a validade com a folha de interface	
							80		Realizar o check-list de liberação de linha	
							90		Comparar o produto acabado com o padrão	
							100		Retirar amostras para Shelf Life	
50							10		Realizar o controle de processo e aspectos gerais	POSTO #1
			X	X			20		Operar Laser Jet	
							30		Operar Envasadora	
							40	🚫	Operar Celofanadora	
							50		Realizar apontamentos no Prodwin	
							60		Fazer o apontamento no caderno de produtividade	
60	X		X	X			10		Gerar material via SAP	POSTO #2
							20	🚫	Abastecer a esteira de frascos	
							30	🚫	Abastecer a panela vibratória	
							40	🚫	Abastecer suporte de tampas	
							50	🚫	Abastecer atuador	
							60	🚫	Abastecer a linha com protetor	
							70	🚫	Abastecer a linha com cartucho	
							80	🚫	Abastecer a linha com bobina de celofane	
							90	🚫	Realizar o refluxo de materiais	
	70	X	X				10	🚫	Abastecer esteira de codificação c/ frasco, posicionar o mesmo corretamente p/ ser codificado na laiser.	
80	X					10	🚫	conferir codificação no fundo do frasco e abastecer pucks c/ frascos.	POSTO #10	
90						10	🚫	Abastecer tampa na esteira colocando as tampas na posição correta. E separando as bandejas.	POSTO #5	
100	X	X		X		10		Colocar e posicionar o acionador na válvula até sentir o clique e	POSTO #6	
110	X	X				10		Abastecer o magazine de cartucho e protetor	POSTO #4	
						20		Operar Kalix		
110						10		Verificar gravação de validade no cartucho	POSTO #8	
	X	X		X		20		Verificar condições de celofanagem		
						30		Encaixotar o produto acabado na caixa padrão c/ 28 unidades.		
120						10	🚫	Abastecer a mesa da PRB com caixas vazias	POSTO #9	
	X	X				20	🚫	Colar etiqueta ZPAC na caixa		
						30	🚫	Montar as caixas no pallet		
130						10	🚫	Abastecer o local com pallet vazio	POSTO #11	
						20	🚫	Abastecer o local com pallet de caixas		
						30	🚫	Abastecer o local com pallet de tampas		
	X	X				40	🚫	Emitir guia de pallet		
						50	🚫	Levar pallet para área de movimentação (almox)		
						60	🚫	Auxilia no abastecimento da linha		

Fonte: Autoria Própria

Para dar clareza e entender bem o processo da linha de produção em estudo, foi criado um fluxo de etapas do processo como demonstra a Figura 13. Nele é possível verificar que existem mais etapas do processo realizadas de forma manual do que automaticamente. Isso é um ponto importante a considerar pois, para que seja possível o avanço dos níveis de maturidade da I4.0, é necessário que sejam eliminadas ao máximo as etapas executadas manualmente no processo de transformação do produto. É muito difícil extrair dados e informações de etapas que são processadas manualmente na indústria, então é possível concluir que linhas de produção que possuem muitas pessoas realizando atividades estão em níveis pouco elevados de maturidade da I4.0.

Figura 13 – Fluxo de etapas do processo de envase do produto



Fonte: Autoria Própria

3.3. Requisitos de Um Modelo para a I4.0

O objetivo principal dessa pesquisa é estabelecer um modelo para o desenvolvimento de projetos e aplicação das tecnologias da I4.0 nas empresas brasileiras, levando em consideração o nível de tecnologia instalada e o perfil de competências dos profissionais. Tal modelo visa auxiliar os líderes dessas empresas a estruturarem um programa de implementação da I4.0. O protagonismo

de profissionais interessados nesse tema, somado à parceria com empresas de tecnologia, são fundamentais para a construção desse modelo, com uma abordagem prática e comprovada neste estudo de caso.

Com a realização de reuniões de trabalho do **GTE**, é possível o levantamento de diversas oportunidades desafiando os modelos tradicionais da indústria e, através de "*brainstorming*", possibilita-se a geração de ideias para a aplicação de novas tecnologias.

Para o entendimento das tecnologias e a efetividade do resultado de cada uma delas, são realizadas Provas de Conceito (*PoC - Proof of Concept*) para testes da tecnologia utilizando um laboratório de experimentos especialmente desenvolvido para essa finalidade, conforme mostrado na Figura 14.

Figura 14 – Laboratório I4.0



Fonte: Arquivo Interno

As tecnologias e ideias testadas no laboratório serão posteriormente implementadas na linha modelo com medição de resultados reais após a implementação, servindo como validação do modelo proposto. À medida que as ideias venham a ser implementadas, e barreiras forem identificadas, bem como dificuldades e erros de implementação, uma lista de aprendizados é criada, conforme exemplificada na Tabela I – Lista de Aprendizado de Projetos.

Tabela I – Lista de Aprendizados de Projetos

Tecnologia	Ideia	Barreira	Solução	Status
Impressora 3D	Produzir “Dedo de Arraste de cartucho”	Não temos o desenho técnico da peça	Desenhar peça em <i>software</i> 3D	Executado
IoT (Internet das Coisas)	Coletar variável de corrente do motor	Não há conectividade do PLC com a rede de dados	Instalar conversor de rede para conectar PLC	Executado

Fonte: Autoria Própria

A lista de aprendizados da Tabela I, criada no formato de uma planilha de apoio, permite capturar dezenas de informações relevantes ao desenvolvimento do modelo para a introdução das novas tecnologias da I4.0 em processos industriais, entendendo de forma prática o que fazer para vencer cada uma das barreiras.

Ao se testar as tecnologias habilitadoras no laboratório da Figura 14, os resultados foram debatidos entre os profissionais do GTE. Constatou-se haver uma relação entre as tecnologias habilitadoras e os níveis de maturidade, configurando assim uma proposta para sistematizar o modelo. É possível entender que existem algumas tecnologias predecessoras à outras e sugerir uma ordenação na implementação das mesmas. A Figura 15 demonstra a relação de Nível de Maturidade e Tecnologia Habilitadora, de modo a atribuir uma ou mais tecnologias a cada nível. Não é possível implementar uma tecnologia de um nível superior sem ter implementado as tecnologias dos níveis anteriores, por exemplo, só é possível a implementação de IA se o processo tiver passado pela implementação de *Big Data*, Internet das Coisas, Integração de Sistemas e automatização dos postos de trabalhos executados de forma manual por Robôs Colaborativos. Essa sequência não é uma regra, mas é uma boa prática aprendida no desenvolvimento dessa pesquisa.

Figura 15 – Relação Nível de Maturidade versus Tecnologia Habilitadora



Fonte: Autoria Própria

Além das muitas novas tecnologias aplicadas na Indústria 4.0, a transformação digital gera a necessidade de uma nova mentalidade nos profissionais e, conseqüentemente a necessidade do desenvolvimento de novas competências. Cada vez mais os profissionais estarão ligados às novas tecnologias e novas profissões surgirão (GALASKE, 2018).

Um bom profissional preparado para as mudanças da I4.0 precisa ter atitude. A atitude de querer mudar, inovar, crescer, aprender e transformar, sendo a capacidade de fácil adaptação um fator muito importante. Daqui para frente, o ritmo de transformações só irá aumentar, por isso essa competência se faz tão

necessária no desenvolvimento do novo modelo a atitude protagonista, de criar possibilidades de aplicar as novas tecnologias.

Ter inteligência emocional é fundamental para os profissionais do futuro. A necessidade dessa competência foi presenciada na prática para conseguir superar as barreiras e desafios técnicos e interpessoais.

As novas tecnologias exigem a capacidade de conhecimento técnico, habilidade de fazer escolhas assertivas e decisões de como seguir e o que fazer nos projetos, então a busca de aperfeiçoamento constante é mais uma das características dos profissionais da Indústria 4.0.

As habilidades de gestão serão modificadas com informações atualizadas em tempo real, de modo que a gestão terá novas ferramentas para fazer sua estratégia e definir qual a melhor forma de operar a fábrica. Isso impactará em novos desenhos de estrutura com uma nova cultura para acompanhar todas essas mudanças (MARTINEZ, JIRSAK e LORENC, 2016).

Outra premissa para o desenvolvimento desse modelo é ter bem claro como ele pode ajudar a resolver os problemas da indústria brasileira, sugerindo a introdução de tecnologias que trarão retorno para a empresa e para os Stakeholders. Para isso, o modelo deve estar alinhado em obter os resultados e benefícios da Indústria 4.0 (ROTTA, 2017).

3.4. Proposição de um Modelo para Introdução de Novas Tecnologias na Indústria 4.0

Para a construção de um Modelo visando a introdução de novas tecnologias da I4.0, foi reunido todo o arcabouço de conteúdos acadêmicos estruturados nos capítulos e seções anteriores: **Tecnologias** da I4.0, **Princípios** da I4.0, **Benefícios** da I4.0 e **Níveis de Maturidade** da I4.0, os quais formam a coluna vertebral para a proposta do modelo. Essa estrutura de conteúdos é usada como ferramenta nas discussões do grupo de trabalho **GTE**, composto por profissionais que trabalham para a introdução de novas tecnologias na empresa onde se situa o objeto de estudo, com ela pode-se avaliar quais benefícios tais projetos trarão, lembrando que os benefícios deverão estar em harmonia com o plano estratégico da empresa.

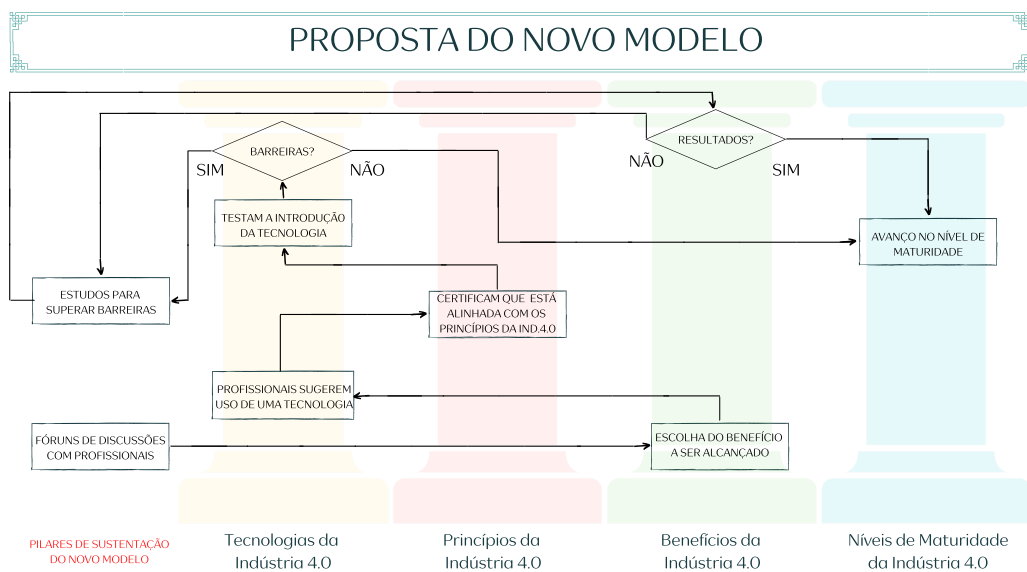
Nesse mesmo grupo de trabalho é estudada e sugerida algumas das tecnologias habilitadoras que podem ser utilizadas para alcançar o benefício ou

resultado esperado. O conjunto de soluções deve estar em harmonia com os princípios da I4.0, e após essa validação, pode-se testar a introdução da tecnologia proposta no processo.

As barreiras detectadas nessa implementação são listadas na planilha de aprendizados do projeto da Tabela I. A equipe **GTE** busca criar planos de ação para superar as barreiras e, à medida que elas são superadas, é feito o registro do efeito causado pela tecnologia. A Figura 16 apresenta o fluxo desenhado para a construção desse modelo que é sustentado de forma ilustrativa por 4 pilares do arcabouço acadêmico: Tecnologias da I4.0, Princípios da I4.0, Benefícios da I4.0 e Níveis de Maturidade da I4.0. Tal fluxo demonstra o passo-a-passo das discussões de forma sistêmica.

Resumidamente, os profissionais do **GTE** nos fóruns de discussões escolhem um benefício a ser alcançado, entende-se qual tecnologia pode ser aplicada, é feita uma validação do alinhamento com os princípios da I4.0, e testam a tecnologia. Se houver barreiras, análises são feitas para superá-las. Se não houver barreiras, a tecnologia aplicada contribui para o avanço no nível de maturidade do processo no contexto da I4.0.

Figura 16 – Estrutura para Novo Modelo – Fluxo de Construção



Fonte: Autoria Própria

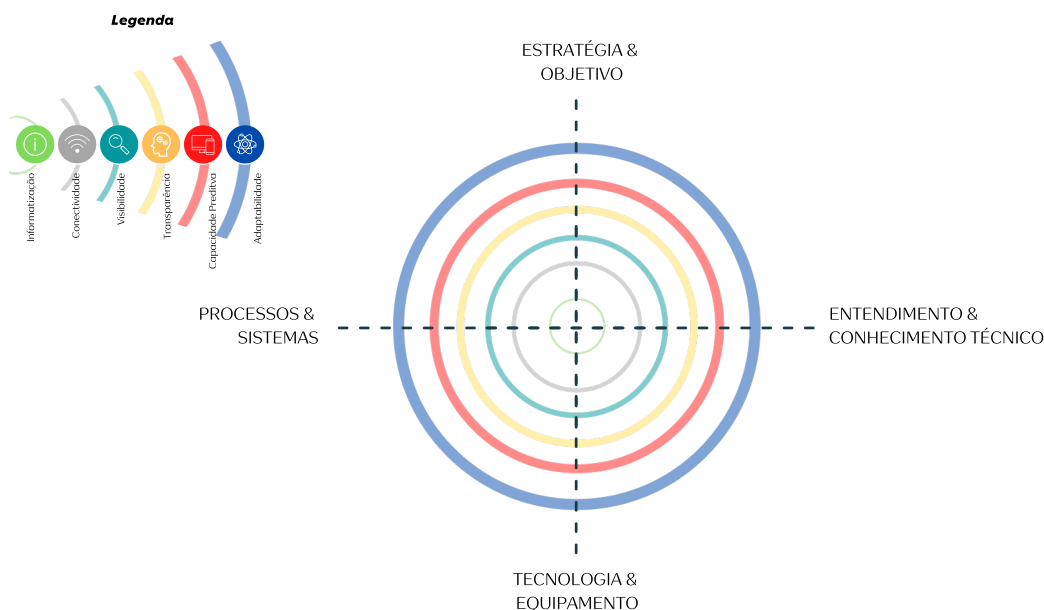
Ao pesquisar e conversar com diversos profissionais e líderes de empresas através dos grupos de discussões, uma expressão bastante ouvida é que instituir projetos de I4.0 é uma utopia ou sonho devido às condições da indústria brasileira, falta de profissionais capacitados e falta de políticas públicas de incentivo. À medida que os experimentos se mostram bem-sucedidos, e que os problemas são superados, o modelo para a introdução de novas tecnologias em processos industriais no contexto da I4.0 pode se viabilizar e transformar sonho em realidade.

Os aprendizados capturados e estruturados nesse modelo podem ser reaplicados por outros profissionais e em outros processos de forma sistêmica. Fazendo referência a grande dificuldade de transformar o sonho da I4.0 em realidade, o modelo proposto nesse trabalho é batizado como **MODELO DREAM PARA IMPLEMENTAÇÃO DE TECNOLOGIAS NA INDÚSTRIA 4.0 (*Modelo DREAM para a I4.0*)**. A palavra “*dream*” além de ter o significado de sonho em inglês, é um acrônimo formado por palavras associadas às diferentes etapas do modelo, Diagnóstico, Recomendação, Execução, Avaliação e Multiplicação, que serão discutidas na seção 3.6.

Inspirado nos modelos mencionados na seção 2.6.7, o **Modelo DREAM** para a I4.0 possui **quatro dimensões** de desenvolvimento: Estratégia & Objetivo, Entendimento & Conhecimento, Tecnologia & Equipamento e Processos & Sistemas. Todas as quatro dimensões se relacionam e são fundamentais para a implementação da I4.0. Segundo GÖKALP (2017), dividir o avanço da maturidade por dimensões ajuda a classificar as oportunidades de melhoria no processo de evolução dos níveis de maturidade.

A avaliação proposta do nível de maturidade pode ser visualizada por dimensão através do gráfico na Figura 17, que apresenta círculos em diferentes cores representando cada nível de maturidade e as quatro dimensões de desenvolvimento.

Figura 17 – Dimensões do Modelo DREAM para a I4.0



Fonte: Autoria Própria

Essa abordagem sugere que o avanço dos níveis de maturidade deve ocorrer de forma integral nas quatro dimensões, de modo que só haja uma mudança no nível de maturidade quando todas elas evoluírem, pois, essa evolução é indispensável para tornar os benefícios da I4.0 reais.

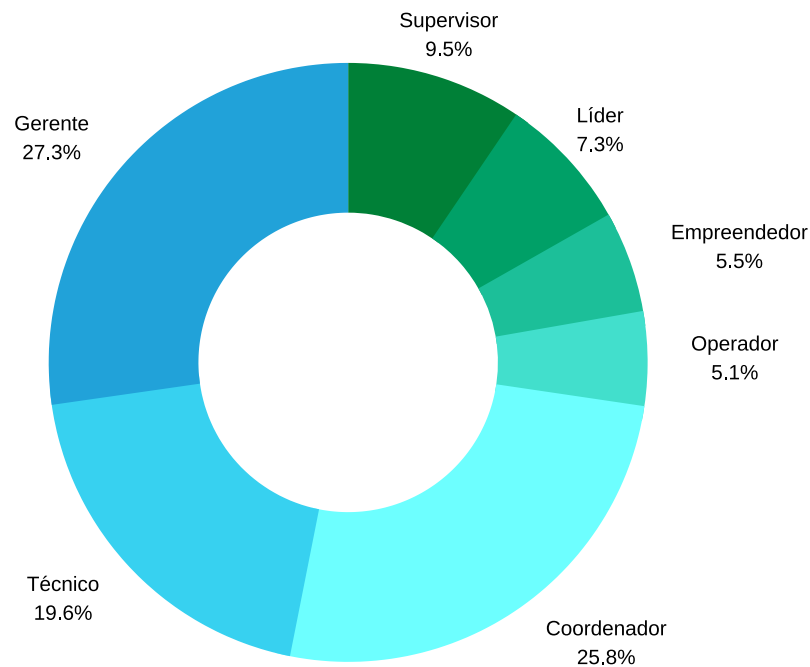
O **Modelo DREAM** tem como ferramenta de trabalho os grupos de discussão para a introdução de novas tecnologias em processos industriais: um grupo formado por profissionais de mercado (**WF**) que indicam as principais dificuldades para implementação das tecnologias e outro de profissionais que trabalham na empresa (**GTE**) e que participam dos testes e aplicações práticas na linha modelo de estudo de caso.

Conforme explanado no tópico 3.1.1, vários profissionais participaram ativamente das discussões, no grupo WF da I4.0, no Telegram, e ajudaram a entender quais são as barreiras para implementar novas tecnologias na indústria e como tais tecnologias podem ser aplicadas. Por isso, é oportuno entender um pouco do perfil dos integrantes do grupo WF através de uma pesquisa que demonstrou os seguintes dados:

- a) Quando perguntada a profissão das pessoas que compõem o grupo, foi evidenciado que 19,6% são técnicos e 27,3% são gerentes em indústrias, como mostra a Figura 18. Na pesquisa também aparecem outras profissões, portanto, conclui-se que esse grupo é multifuncional e configura uma equipe multidisciplinar para discussão das questões.

Figura 18 – Profissões no Grupo WF da I4.0

Qual sua profissão atualmente?
(95 Respostas)

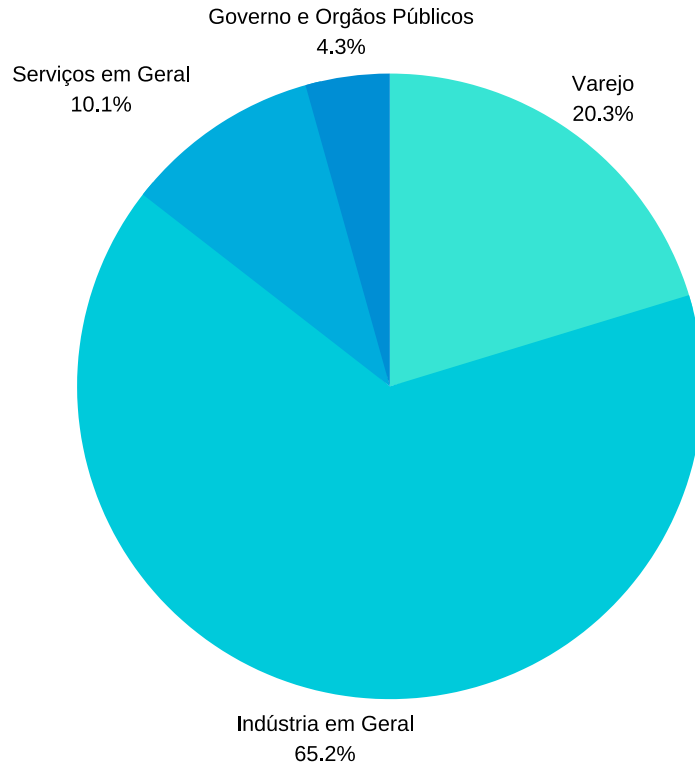


Fonte: Autoria Própria

- b) Quando foi perguntado sobre o setor de atuação dos profissionais, a resposta predominante foi Engenharia e Indústria em geral, correspondendo a 65,2% dos entrevistados, conforme apresentado na Figura 19.

Figura 19 – Setores no Grupo WF da I4.0

Qual setor que você atua?
(93 Respostas)



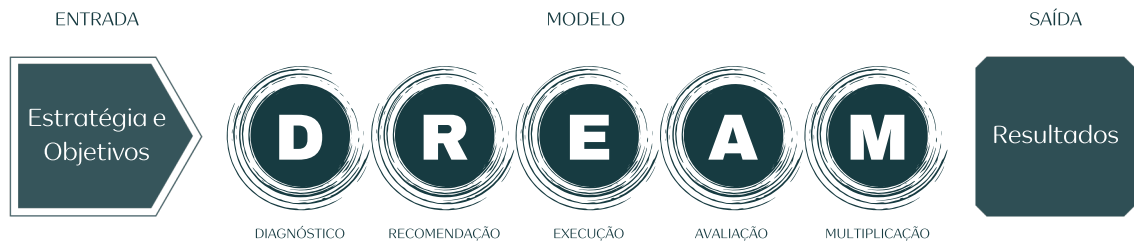
Fonte: Autoria Própria

Outras questões foram lançadas no grupo WF da I4.0 para entender com profundidade a composição técnica, acadêmica e social dos integrantes. Além disso, foi proporcionada capacitação técnica sobre as novas tecnologias, por meio de apresentações semanais de um profissional convidado, especialista em uma área ou tecnologia específica visando o compartilhamento de seus conhecimentos com os demais integrantes do grupo.

Foram consultados conteúdos acadêmicos e as publicações técnicas do meio industrial, onde foram encontradas algumas publicações representativas para os tópicos de I4.0 e para cada uma das tecnologias habilitadoras: Robôs Colaborativos e Autônomos, Computação em Nuvem, Integração de Sistemas, Segurança Cibernética, Manufatura Aditiva, Simuladores, AR, IIoT e *Big Data*.

O **Modelo DREAM** foi construído para orientar os profissionais a gerarem resultados para suas empresas, por isso ele apresenta uma abordagem prática estruturada no *framework* apresentado na Figura 20.

Figura 20 – Framework do Modelo DREAM para a I4.0



Fonte: Autoria Própria

Um dos elementos para a criação desse modelo é a produção de resultado para a empresa. Assim, é necessário ter a clareza da Estratégia e Objetivos, com indicadores bem definidos e com a captura inicial dos resultados desses indicadores, pois ao final da implementação de cada projeto, deve-se medir novamente o resultado e comparar com a base inicial. Um projeto bem-sucedido na implementação da I4.0 é o projeto que traz um saldo positivo no impacto dos indicadores.

É muito comum as empresas de manufatura adotarem o **PQCDSM** para definir os seus principais indicadores. Esse conjunto de letras representa indicadores nas dimensões de:

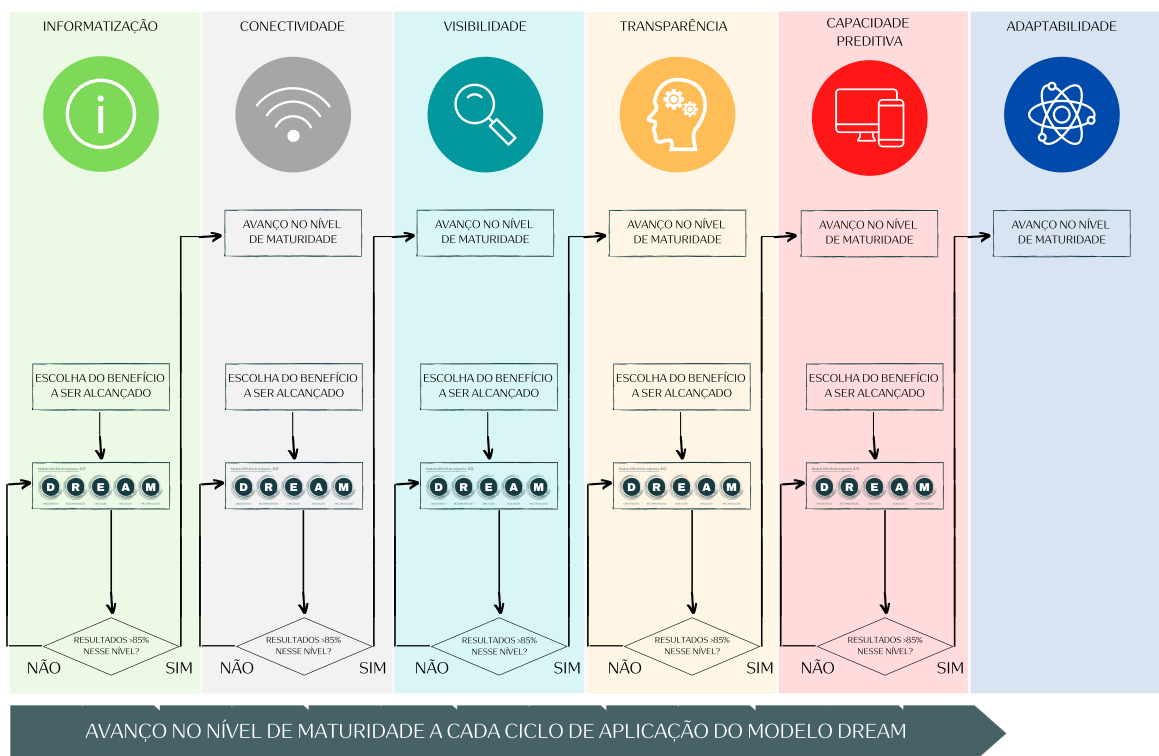
- P – Produtividade (do inglês *Productivity*),
- Q – Qualidade (do inglês *Quality*),
- C – Custo (do inglês *Cost*),
- D – Entrega (do Inglês *Delivery*),
- S – Segurança (do inglês *Safety*) e
- M – Moral (do Inglês *Moral*).

Essa abordagem surgiu no sistema de gestão denominado **TPM**, que significa *Total Productive Management*, que busca a máxima eficiência do sistema de produção, onde 100% dos colaboradores devem ser envolvidos. Esse sistema de gestão teve início no Japão logo após a segunda grande guerra, e chegou nos EUA em 1987. Nesse mesmo período, o TPM foi introduzido no Brasil pelo Dr. Seiichi Nakajima (NAKAJIMA, 1989).

O TPM tem sido um dos principais sistemas de gestão de produção nas indústrias. Portanto, é conveniente que os projetos da I4.0, possam ter impacto positivo para auxiliar a melhora desses indicadores no “chão de fábrica”.

A partir da coleta desses indicadores e a definição da estratégia e objetivos a serem alcançados, é formada a **ENTRADA** do **Modelo DREAM**. O projeto passa então por todas as etapas do DREAM gerando os resultados na **SAÍDA** do processo, conforme Figura 20. Assim, ao final das implementações, pode-se ter um comparativo quantitativo para demonstração dos resultados. Como já foi mencionado, a estratégia e objetivo devem ser claros para que se possa atender as expectativas dos Stakeholders.

Figura 21 – Aplicação do Modelo DREAM para Evolução da Maturidade 4.0



Fonte: Autoria Própria

O **Modelo DREAM** é um ciclo evolutivo que, na forma de melhoria contínua, avança o processo nos níveis de maturidade definidos no modelo e estudo da ACATECH, como representa do fluxo da Figura 21.

Pode-se notar que o **Modelo DREAM** é aplicado como ferramenta que auxilia o avanço nos níveis de maturidade da I4.0. Aplicando o modelo, por exemplo no nível

discussões criados para essa pesquisa. Para se entender quais tecnologias trazem o maior número de benefícios de I4.0, foi tabulado o número de vezes que uma dada tecnologia se relaciona com o benefício baseado na matriz da Figura 22. A Figura 23 ilustra o resultado do cruzamento desses atributos.

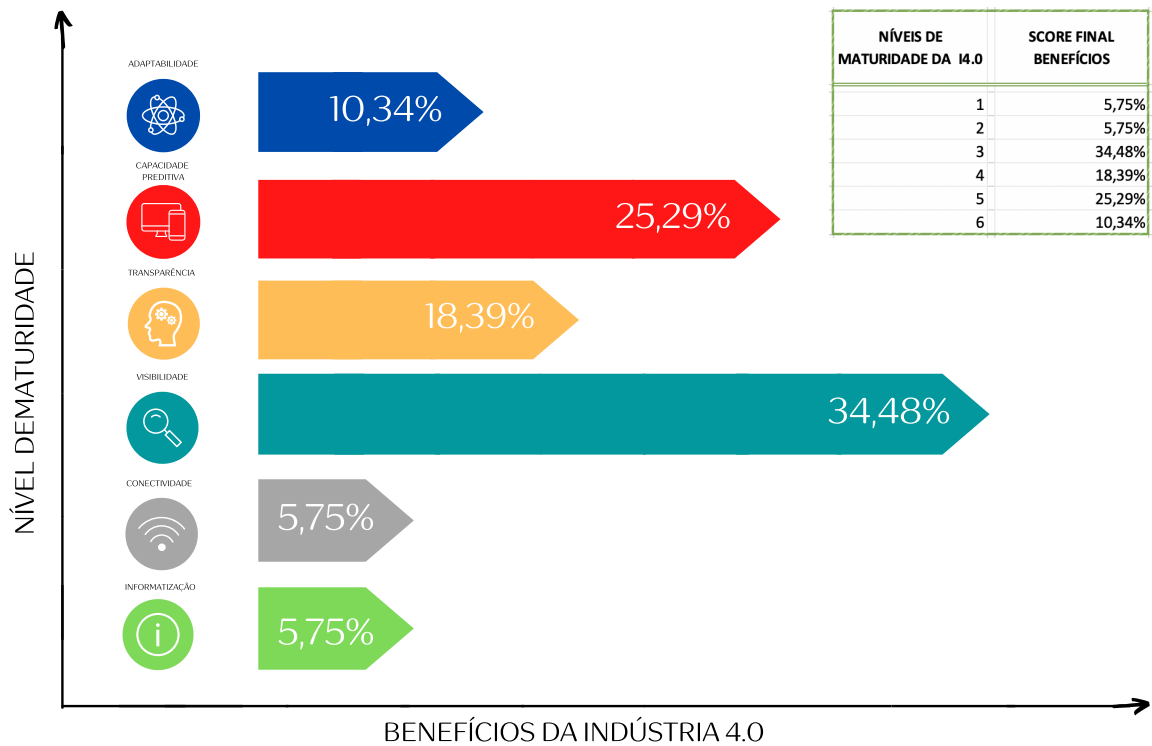
Figura 23 – Relação Tecnologias versus Benefícios

TECNOLOGIAS	NÍVEIS DE MATURIDADE DA I4.0	PRINCÍPIOS DA I4.0	BENEFÍCIOS X TECNOLOGIA	BENEFÍCIOS X PRINCÍPIOS	TOTAL DE BENEFÍCIOS	SCORE FINAL BENEFÍCIOS
MANUFATURA ADITIVA	1	0	3	0	3	3,45%
ROBÔS COLABORATIVOS	1	0	2	0	2	2,30%
INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS	2	0	3	0	3	3,45%
SEGURANÇA CIBERNÉTICA	2	0	2	0	2	2,30%
COMPUTAÇÃO EM NUVEM	3	3	4	10	14	16,09%
INTERNET INDUSTRIAL DAS COISAS	3	3	6	10	16	18,39%
ANÁLISE DE BIGDATA	4	2	4	5	9	10,34%
GÊMEO DIGITAL & SIMULADORES	4	2	2	5	7	8,05%
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	5	2	5	7	12	13,79%
REALIDADE AUMENTADA	5	2	3	7	10	11,49%
ROBÔS AUTÔNOMOS	6	1	6	3	9	10,34%
	36	15	40	47	87	100,00%

Fonte: Autoria Própria.

A tabela da Figura 23 apresenta que, a partir dos dados coletados dos *inputs* dos grupos de discussão, a tecnologia habilitadora que se relaciona ao maior número de benefícios é a Internet Industrial das Coisas, com 18,39% no “score” final de benefícios. Recorrendo à Figura 15, a tecnologia de IloT é associada ao nível #3 (Visibilidade) de maturidade. Considerando-se, uma visão por níveis de maturidade, obtêm-se os resultados mostrados na Figura 24.

Figura 24 – Relação Nível de Maturidade versus Benefícios



Fonte: Autoria Própria.

A informação apresentada na Figura 24 é muito relevante para os profissionais e gestores da nova indústria, pois ajuda a compreender que uma vez alcançado o Nível 3 de Maturidade, o processo/empresa estará obtendo 45,98% (5,75% + 5,75% + 34,48%) dos benefícios da I4.0.

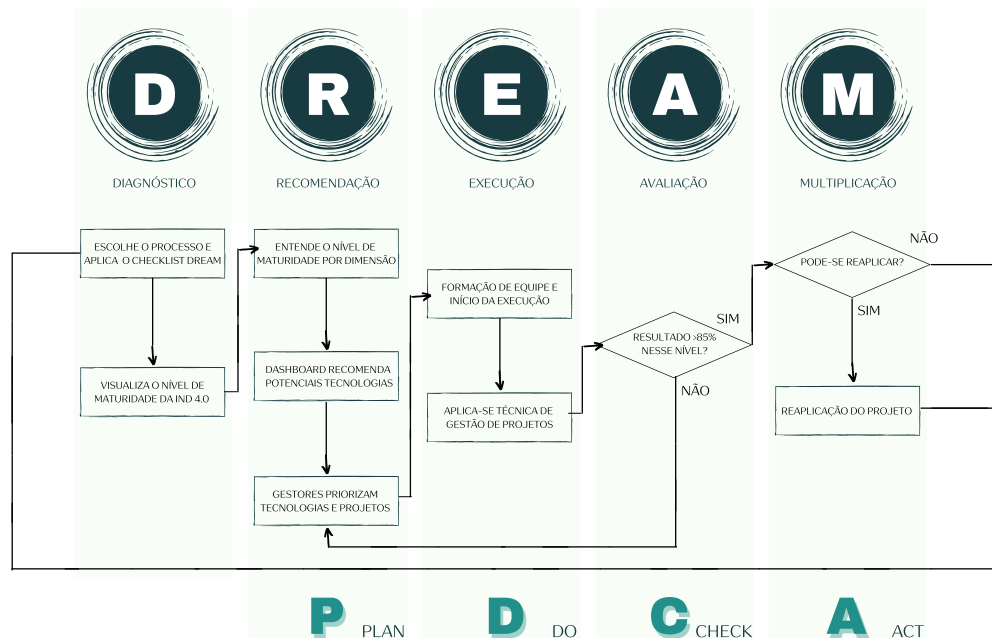
3.5. Etapas do Modelo DREAM para a Indústria 4.0

O acrônimo DREAM é formado pelas iniciais de palavras que descrevem as cinco etapas necessárias na aplicação do modelo:

- D** - Diagnóstico – (*Diagnostic*)
- R** - Recomendação – (*Recommendation*)
- E** - Execução – (*Execution*)
- A** - Avaliação – (*Assessment*)
- M** - Multiplicação – (*Multiplication*)

Na execução das cinco etapas do **Modelo DREAM para a I4.0** visando a introdução de uma nova tecnologia no processo produtivo, inicia-se pela etapa de **Diagnóstico**, gera-se uma lista de **Recomendação** de projetos, aplica-se a metodologia de **Execução**, realiza-se a **Avaliação** para analisar a efetividade do resultado comparando com o resultado inicial do diagnóstico e, por fim, decide-se se é viável a **Multiplicação** e expansão do projeto para outros processos ou atividades similares. A Figura 25 apresenta o encadeamento das cinco etapas DREAM.

Figura 25 – Fluxo do Modelo aplicado



Fonte: Autoria Própria

O modelo conhecido como Ciclo **PDCA** (*Plan, Do, Check, Act*), é uma ferramenta que possui uma abordagem prática e ordenada, muito utilizada para a realização da melhoria contínua nas fábricas. Essa ferramenta foi conectada ao **Modelo DREAM** (MONTGOMERY e BORROR, 2017).

Na parte inferior da Figura 25 pode-se observar a etapa Recomendação está associada ao P – *Plan* (Planejar), a Execução ao D – *Do* (Fazer), a Avaliação ao C – *Check* (Verificar) e finalmente a Multiplicação ao A – *Act* (Agir).

Após o **Diagnóstico** do nível de maturidade do processo, são realizadas as outras etapas do modelo proposto. Na **Recomendação** do **Modelo DREAM**, é

realizado todo o planejamento do projeto, entendendo a classificação de maturidade, fazendo uso do *dashboard* de gestão e priorizando tecnologias e projetos (**Plan**).

Na **Execução**, é formada a equipe do projeto e aplica-se a Gestão Ágil de projetos (**Do**).

Na etapa de **Avaliação** do projeto, é verificado o quanto o projeto gerou de avanço no “*score*” do *checklist* do diagnóstico inicial (**Check**).

Na etapa de **Multiplicação**, entende-se quão efetivo o projeto foi em atender os indicadores de fábrica (PQCDSM) e de forma gerencial, decidir se a solução implementada no projeto pode ser reaplicada em outro processo similar (**Act**).

Tal abordagem demonstra que a aplicação do **Modelo DREAM** tem em seus fundamentos o ciclo PDCA e a mesma abordagem prática e ordenada para a realização da melhoria contínua no contexto da I4.0.

3.5.1. Etapa de Diagnóstico

Nessa etapa, é realizado um diagnóstico inicial para verificar qual é o Nível de Maturidade que se encontra o processo da indústria a ser estudado. A partir do entendimento do nível de maturidade, é possível traçar planos de ação para sua evolução.

O **Modelo DREAM** utiliza os seis níveis de Maturidade da ACATECH, descritos na seção 2.6. Por mais que tenham sido feitos estudos dos vários modelos de avaliação de maturidade, não é possível encontrar detalhes de como é feito esse processo. O que se sabe é que todos aplicam um questionário capaz de posicionar a empresa em um determinado nível de maturidade (RAJNAI e KOCSIS, 2018).

A exemplo de outros modelos, abordados no item 2.6 desse trabalho, foi desenvolvido um questionário com respostas de múltipla escolha para identificar o nível da empresa com relação aos seis estágios de Maturidade da ACATECH.

O presente trabalho propõe a aplicação de um questionário, chamado de **Checklist DREAM**, não para avaliar a empresa como um todo, que é a proposta dos outros modelos de índice de maturidade, mas para avaliar cada um dos processos da indústria individualmente (Figura 26). A moda predominante, ou seja, o índice que mais se repete nas avaliações de todos os processos, resultará no Índice de Maturidade Geral da Empresa.

O **Checklist DREAM** foi desenvolvido como resultado das discussões do grupo de trabalho **GTE**, responsável por testar as tecnologias na linha piloto. Possui 136 questões e é preenchido de forma digital em uma planilha cujo arquivo está disponibilizado em nuvem.

Figura 26 – Exemplo do **Checklist DREAM** para Diagnóstico da Maturidade

ÍNDICE DE MATURIDADE PARA ABORDAGEM PRÁTICA DA INDÚSTRIA 4.0 NA LINHA DE PRODUÇÃO DE COSMÉTICOS										
DIMENSAO	NÍVEL MATURIDADE	TECNOLOGIA	NÚMERO	QUESTAO	NAO SEI INFORMAR	MENOS DE 25% (INEXISTENTE) (NAO)	ENTRE 26% A 50% (BAIXO)	ENTRE 51% A 75% (MEDIO)	MAIS DE 75% (ALTO) (SIM)	
ESTRATÉGIA E OBJETIVO	NÍVEL 1 - INFORMATIZAÇÃO	GESTAO	1	EM QUE NÍVEL VOCE E A EQUIPE DO PROJETO (QUANTOS DE VOCÊS) CONHECEM CLARAMENTE A ESTRATÉGIA E O OBJETIVO DA EMPRESA?						
ESTRATÉGIA E OBJETIVO	NÍVEL 1 - INFORMATIZAÇÃO	GESTAO	2	EM QUE NÍVEL VOCE E A EQUIPE DO PROJETO (QUANTOS DE VOCÊS) SABEM COMO A INDÚSTRIA 4.0 PODERÁ TE AJUDAR A CONQUISTAR ESSA ESTRATÉGIA?						
ESTRATÉGIA E OBJETIVO	NÍVEL 1 - INFORMATIZAÇÃO	GESTAO	3	EM QUE NÍVEL VOCE E A EQUIPE DO PROJETO (QUANTOS DE VOCÊS) CONHECEM OS NÍVEIS DE MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0?						
ESTRATÉGIA E OBJETIVO	NÍVEL 1 - INFORMATIZAÇÃO	GESTAO	4	EM QUE NÍVEL VOCE E A EQUIPE DO PROJETO (QUANTOS DE VOCÊS) CONHECEM PROFUNDAMENTE O PRECESSO QUE VAI ATUAR?						
ESTRATÉGIA E OBJETIVO	NÍVEL 1 - INFORMATIZAÇÃO	GESTAO	5	EM QUE NÍVEL VOCE E A EQUIPE DO PROJETO (QUANTOS DE VOCÊS) CONHECEM METODOLOGIAS ÁGEIS DE PROJETO ?						
ESTRATÉGIA E OBJETIVO	NÍVEL 1 - INFORMATIZAÇÃO	GESTAO	6	EM QUE NÍVEL VOCE E A EQUIPE DO PROJETO (QUANTOS DE VOCÊS) TÊM ACESSO LIVRE OU CONTATO COM AS TECNOLOGIAS HABILITADORAS ?						
ESTRATÉGIA E OBJETIVO	NÍVEL 1 - INFORMATIZAÇÃO	GESTAO	7	EM QUE NÍVEL VOCE E A EQUIPE DO PROJETO (QUANTOS DE VOCÊS) PARTICIPAM DE EVENTOS E FEIRAS EM BUSCA DE CONHECIMENTOS?						
ESTRATÉGIA E OBJETIVO	NÍVEL 1 - INFORMATIZAÇÃO	GESTAO	8	EM QUE NÍVEL DE MATURIDADE VOCE E A EQUIPE AVALIAM QUE ESTEJA ESSE PROCESSO OU LINHA DE PRODUÇÃO?						
ESTRATÉGIA E OBJETIVO	NÍVEL 1 - INFORMATIZAÇÃO	GESTAO	9	EM QUE NÍVEL VOCE E A EQUIPE (QUANTOS DE VOCÊS) CONSEGUEM ELABORAR UMA ESTRATÉGIA DE IMPLEMENTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 NESSE PROCESSO OU LINHA DE PRODUÇÃO?						
ESTRATÉGIA E OBJETIVO	NÍVEL 1 - INFORMATIZAÇÃO	GESTAO	10	EM QUE NÍVEL VOCE E A EQUIPE (QUANTOS DE VOCÊS) CONSEGUEM LEVANTAR OS PRINCIPAIS INDICADORES DESSE PROCESSO OU LINHA DE PRODUÇÃO?						
ESTRATÉGIA E OBJETIVO	NÍVEL 1 - INFORMATIZAÇÃO	GESTAO	11	EM QUE NÍVEL VOCE E A EQUIPE ENTENDEM AS PRINCIPAIS PERDAS E OPORTUNIDADES DESSE PROCESSO OU LINHA DE PRODUÇÃO?						

Fonte: Autoria Própria

A planilha demonstrada na Figura 26 indica algumas das questões criadas e utilizadas no **Checklist DREAM**. Todas essas questões foram originadas a partir do entendimento das tecnologias, dos testes realizados no laboratório, do surgimento das barreiras e das dificuldades de implementação dos projetos. Foi identificada uma relação entre as colunas **Dimensão**, **Nível de Maturidade**, **Tecnologia** e **Questão** da planilha da Figura 26. Para exemplificar tal relação, a Figura 27 demonstra que a questão número 89 – **A equipe possui conhecimento de conceitos de impressora 3D?**, está relacionada com a tecnologia de **Manufatura Aditiva**, ao nível de maturidade **Informatização** e com a dimensão, estabelecida na seção 3.5, de **Entendimento & Conhecimento Técnico**.

Figura 27 – Relação entre as colunas do **Checklist DREAM**

ENTENDIMENTO & CONHECIMENTO TECNICO	NÍVEL 1 - INFORMATIZAÇÃO	MANUFATURA ADITIVA	89	A EQUIPE POSSUI CONHECIMENTO DE CONCEITOS DE IMPRESSORA 3D?
-------------------------------------	--------------------------	--------------------	----	--

Fonte: Autoria Própria

É atribuída uma nota a cada uma dessas questões de acordo com o critério de pontuação da Figura 28. O *Checklist DREAM* dá autonomia à equipe do projeto em responder as questões. Diferentes processos e até mesmo diferentes equipes realizando o diagnóstico em um mesmo processo, poderão resultar em pequenas diferenças no resultado pelo fato da atribuição de pontuação estar sujeita a um certo nível de subjetividade.

Figura 28 – Critério de Pontuação para Avaliação das Questões

NAO SEI INFORMAR	MENOS DE 25% (INEXISTENTE) (NAO)	ENTRE 26% A 50% (BAIXO)	ENTRE 51% A 75% (MÉDIO)	MAIS DE 75% (ALTO) (SIM)

Fonte: Autoria Própria

Ao se completar as respostas de todas as questões, um algoritmo interno atribui pesos para cada resposta e classifica em que nível de maturidade se encontra o processo estudado. A Figura 29 apresenta o número de questões por Dimensão e Nível de Maturidade, demonstrando que todas as Dimensões e Níveis de Maturidade são abordados no *Checklist DREAM*.

Figura 29 – Número de Questões por Dimensão e Nível de Maturidade

DIMENSAO	NÚMERO DE QUESTÕES
ENTENDIMENTO & CONHECIMENTO TECNICO	16
ESTRATÉGIA & OBJETIVO	22
PROCESSOS & SISTEMAS	50
TECNOLOGIA & EQUIPAMENTO	48
Total geral	136

NÍVEL MATURIDADE	NÚMERO DE QUESTÕES
NÍVEL 1 - INFORMATIZAÇÃO	55
NÍVEL 2 - CONECTIVIDADE	38
NÍVEL 3 - VISIBILIDADE	20
NÍVEL 4 - TRANSPARÊNCIA	11
NÍVEL 5 - CAPACIDADE PREDITIVA	4
NÍVEL 6 - ADAPTABILIDADE	8
Total geral	136

Fonte: Autoria Própria

O cálculo do algoritmo leva em consideração que existem um grupo de questões diretamente relacionadas com cada nível de maturidade. Assim, para se obter o resultado favorável e cumprir com o atendimento de um dado nível, é necessário que a média de “score” das questões a ele relacionadas seja superior a 85%. Mesmo que se obtenha boas notas em níveis superiores, o que determina a classificação num determinado nível é se o nível anterior esteja com a média de “score” superior a 85%.

Para facilitar o preenchimento do questionário, foi desenvolvida uma interface *mobile* para *smartphone* com o objetivo de dar velocidade à realização do diagnóstico e responder ao **Checklist DREAM** no local a ser avaliado.

3.5.2. Etapa de Recomendação

Assim que concluída a Etapa de Diagnóstico, é dado início a **Etapa de Recomendação**, com a sugestão de ações para suprir as deficiências apontadas pelas questões da etapa anterior, que foram avaliadas abaixo do nível mínimo de 85% de atendimento do Nível de Maturidade.

De uma forma simples, a recomendação dos projetos a serem executados é a análise do “gap” ou lacuna para se obter a melhor nota de atendimento. Em outras palavras, os projetos e ações recomendadas ajudarão na retirada das barreiras para a implementação das novas tecnologias, fortalecendo as notas avaliadas no **Checklist DREAM**, aumentando seu “score” e permitindo a classificação para o nível de maturidade seguinte.

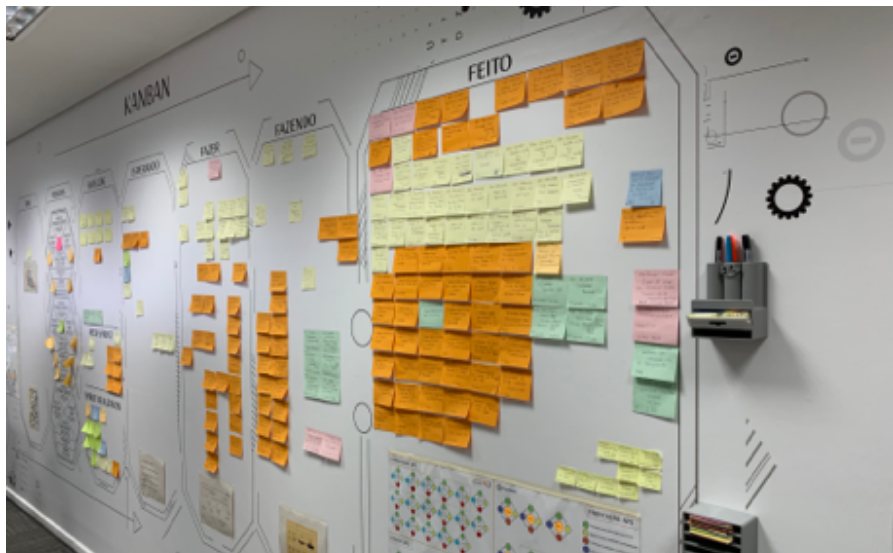
É nesse momento que o “Plan” do ciclo PDCA de melhoria contínua começa a operar. Ao avaliar as questões com notas inferiores a 85%, a equipe de projetos planeja as oportunidades de iniciativas geradas nessa avaliação. Com uma lista de prioridades em mãos, a equipe está pronta para começar a etapa de execução.

3.5.3. Etapa de Execução

A Metodologia Ágil de projetos tem como princípio trabalhar em uma abordagem adaptativa para resolver problemas complexos. Essa metodologia utiliza uma abordagem *Lean* de sistema de produção e o uso da gestão à vista é essencial para acompanhamento e condução do projeto (AGILE ALIANCE, 2019). A Figura

30 apresenta um exemplo de um Quadro Kanban que é dividido em algumas etapas para o acompanhamento do projeto. Essas etapas são Esperando, A Fazer, Fazendo e Feito. As ações do projeto são escritas em etiquetas adesivas e são movidas de uma etapa para outra no Quadro Kanban, conforme o *status* que ela se encontra num determinado momento. Essa abordagem é denominada por **Gestão a Vista**, pois ela é construída fisicamente em um local que todos possam vê-la e onde facilmente os integrantes podem mover as tarefas nas etapas, disponibilizando a possibilidade de todos acompanharem a evolução do projeto.

Figura 30 – Quadro Kanban para Gestão à Vista do Projeto



Fonte: Autoria Própria

O *Lean* se concentra na produtividade através de comunicação e planejamento que proporcionam liberdade para que as equipes descubram maneiras de projetar soluções. Ele também fornece um processo mais eficiente no caso de ser necessária uma mudança no projeto (AGILE ALIANCE, 2019).

Algumas das outras vantagens incluem a redução do custo devido a comunicação constante e o aumento da qualidade, garantindo que todas as equipes estejam cientes de problemas e mudanças.

Uma das metodologias ágeis mais utilizadas para gestão de projetos é o *Scrum*. Nessa metodologia, o projeto é dividido em partes, denominadas *Sprints*. Ao final de cada *Sprint*, uma etapa do projeto é produzida e a equipe se reúne para revisar,

fornecer *feedback* e planejar novas atividades. Isso permite ajustes para a melhor satisfação dos *Stakeholders* do projeto (AGILE ALIANCE, 2019).

3.5.4. Etapa de Avaliação

A etapa de **Avaliação** é responsável por comparar o resultado gerado após a implementação da nova tecnologia com o resultado anterior gerado no diagnóstico. Como mencionado anteriormente, o **Modelo DREAM** possui cinco etapas, Diagnóstico, Recomendação, Execução, Avaliação e Multiplicação, e na etapa de Avaliação um novo preenchimento do *Checklist DREAM* é realizado, observando as questões relacionadas com a tecnologia que foi aplicada e que possuíam um “score” menor que 85%. Esse filtro por tecnologia e por “score” ajuda para a realização de uma avaliação de forma rápida e assertiva.

Com a nova tecnologia aplicada, ocorrem mudanças no diagnóstico inicial do processo avaliado e nesse momento é possível avaliar se houve algum avanço no nível de maturidade.

3.5.5. Etapa de Multiplicação

A etapa de **Multiplicação** tem o objetivo de desenvolver a reaplicação dos projetos em novos processos, de forma que acelere ainda mais a aplicação das novas tecnologias em processos industriais no contexto da I4.0. Portanto, os projetos bem-sucedidos, que seguindo o **Modelo DREAM** foram recomendados, executados e avaliados, ganham velocidade de aprovação e desenvolvimento.

Entende-se que projetos bem-sucedidos são aqueles que além de serem conduzidos de forma eficiente, são também eficazes na captura de ganhos relacionados aos indicadores de performance de fábrica, o PQCDMS. Além do mais, quando é tratado o tema da I4.0, é importante que o projeto executado alcance os benefícios da I4.0 mencionados na seção 2.3.

4. RESULTADOS

Este capítulo tem o objetivo de documentar os resultados obtidos na aplicação das ferramentas propostas no Capítulo 3 e comprovar os benefícios do Modelo DREAM no caso de estudo. Para evidenciar esses resultados, foi preparado um quadro resumo que traz as informações consolidadas de cada uma das etapas do modelo, a fim de apresentar de forma simples o produto (resultado) do Diagnóstico, da Recomendação, da Execução, da Avaliação e da Multiplicação.

Como abordado na seção 3.2, o objeto de estudo é uma linha de produção real, porém não identificada neste trabalho, denominada G#03, que possui 13 principais processos conforme indicado pela Figura 13. Cinco desses processos são realizados de forma automatizada, ou seja, 38,4%.

Seguindo as etapas do **Modelo DREAM**, é dado início ao Diagnóstico dos processos da linha de produção G#03. Neste capítulo será demonstrada a aplicação do modelo em um dos principais processos da linha, como exemplo. Na seção 4.6 será discutida a aplicação de outros resultados aplicando tecnologias a partir do Modelo DREAM.

As cinco etapas do modelo DREAM na seção 3.5 foram aplicadas no posto de trabalho P08 e os resultados demonstrados nesse capítulo. Recorrendo a Figura 12 – Fluxo e Postos de Trabalho (G#03), encontra-se que esse posto de trabalho é responsável pelo encaixotamento manual na caixa padrão e as operações realizadas neste posto incluem: verificar a gravação e validade no cartucho; verificar condições do celofane e encaixotar o produto acabado na caixa padrão com 28 unidades. A Figura 31, apresenta os detalhes das atividades realizadas no posto de trabalho P08.

Figura 31 – Detalhe das Atividades do Posto de Trabalho P08

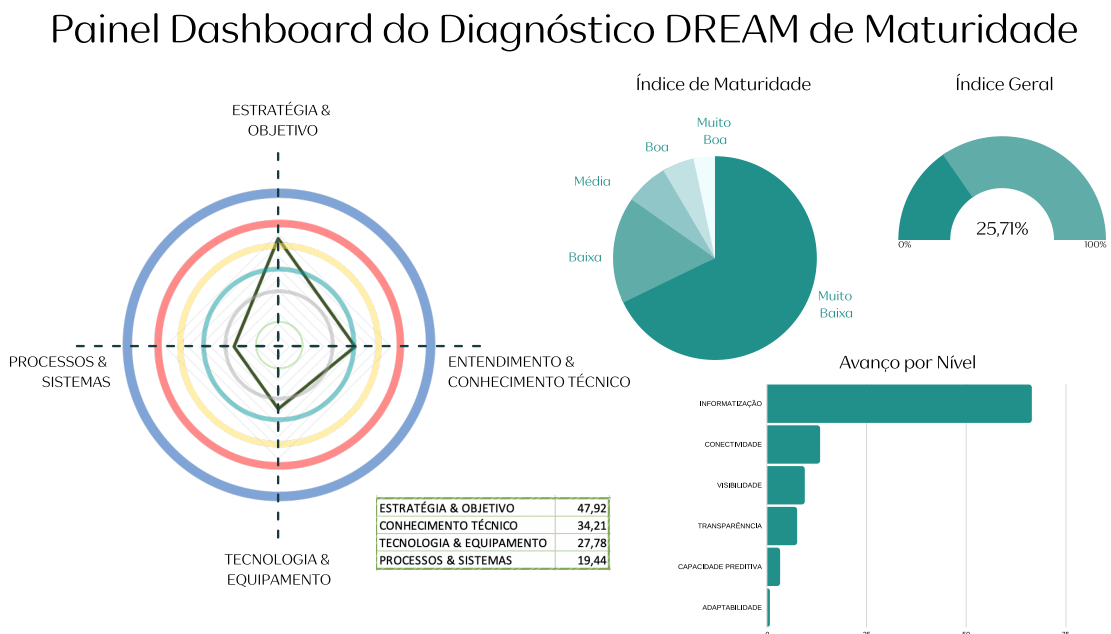
110	X	X	X		Encaixotamento Manual na caixa padrão	10	Verificar gravação de validade no cartucho	POSTO #8
						20	Verificar condições de celofanagem	
						30	Encaixotar o produto acabado na caixa padrão c/ 28 unidades.	

Fonte: Autoria Própria

4.1. Diagnóstico

Após o preenchimento do *Checklist DREAM* na etapa de Diagnóstico, foram compilados em um painel de *Dashboard* os resultados das respostas, que de forma gráfica e intuitiva possibilita visualizar as informações geradas pelo algoritmo. A Figura 32, apresenta esse *Dashboard* que tem por objetivo demonstrar a avaliação de maturidade de uma forma visual, em que os gestores podem entender em que nível o processo está posicionado, bem como, qual das dimensões, citadas na Figura 17, está mais atrasada no desenvolvimento da maturidade.

Figura 32 – Painel Dashboard do Índice de Maturidade DREAM



Fonte: Autoria Própria .

O *Dashboard* da Figura 32 indica que o índice geral do Checklist DREAM se encontra em 25,71%, isso indica a porcentagem relativa do número de questões que atingiram o “score” maior que 85%. Outro dado aqui apresentado é que a resposta predominante no Checklist DREAM é igual a Muito Baixa. Essas informações gerais demonstram aos profissionais do projeto uma visão macro da situação geral do processo avaliado. O gráfico de barras no *Dashboard* indica o “score” por nível de maturidade e apresenta que nesse processo, o primeiro Nível de Maturidade, Informatização, não ultrapassou a nota acima de 85%, portanto o

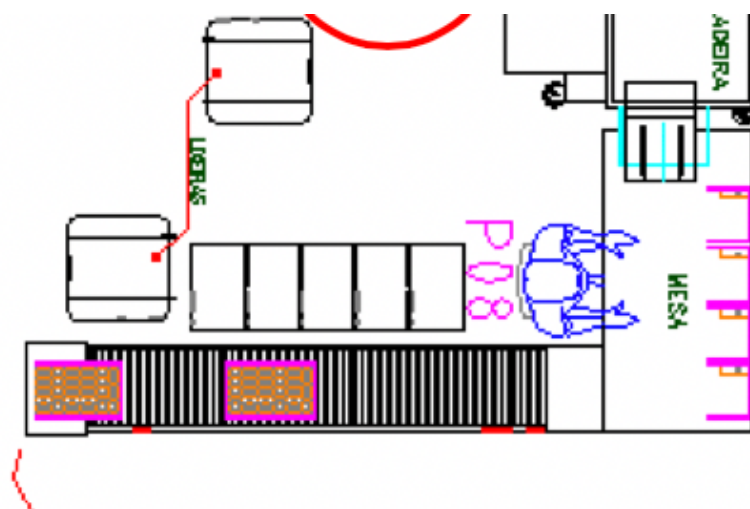
processo está posicionado nesse nível. A tabela traz uma visão do resultado por dimensões que são plotadas no gráfico radar. Nesse mesmo gráfico é possível visualizar que as dimensões **Estratégia & Objetivo** e **Entendimento & Conhecimento Técnico** possuem condições de atender os níveis 4 e 3 sucessivamente.

No **posto de trabalho P08**, o colaborador realiza a atividade de pegar o produto acabado e acondicioná-lo na caixa padrão de embarque. Recorrendo a todo o arcabouço acadêmico, a configuração desse posto, na forma atual, não possui nenhum dos atributos da I4.0 (citados nos tópicos: 2.3, 2.4, 2.5 e 2.6), isto é, não possui tecnologia, a configuração do posto de trabalho P08 não está alinhada com os princípios e nem possui os benefícios da I4.0. Conseqüentemente, está posicionado em um nível baixo de maturidade.

O resultado do Diagnóstico aplicado no processo de trabalho P08 é enquadrado no **Nível #1 – INFORMATIZAÇÃO**. Tal posicionamento nesse nível de maturidade era esperado pois como tratado anteriormente, postos de trabalhos que são realizados de forma manual possuem uma grande dependência do ser humano e estão muito longe de alcançarem os benefícios da I4.0.

Na Figura 33 são apresentados detalhes da configuração do posto de trabalho P08 no *layout* de linha G#03.

Figura 33 – Posto de Trabalho P08 - Encaixotamento Manual na Caixa Padrão



Fonte: Autoria Própria.

4.2. Recomendação

Considerando o mesmo exemplo do posto de trabalho P08 da Figura 33, a atividade feita de forma manual impede uma pontuação melhor no *Checklist*, e as tecnologias que estão conectadas ao **Nível#1 – Informatização** que podem ser recomendadas nessa etapa são: Robôs Colaborativos e Manufatura Aditiva como mostra a Figura 35 – Quadro Resumo do Resultado da Etapa Recomendação. Nesse quadro é possível entender as relações entre o nível de maturidade (Informatização), com as tecnologias da I4.0 e seus benefícios indicadas na matriz “X.”

Figura 35 – Quadro Resumo do Resultado da Etapa Recomendação



Tecnologia à ser aplicada nesse Nível

Robô Colaborativo



Manufatura Aditiva



Fonte: Autoria Própria.

Nesse momento, é importante ter a competência de saber avaliar o potencial valor gerado pela iniciativa e aplicação do projeto. A proposta do modelo aqui é que assim que formada uma base de dados de projetos implementados e que sejam registrados os ganhos dos projetos documentados nessa base, um sistema de IA possa ajudar no processo de decisão. Para a elaboração do estudo de caso piloto deste trabalho, essa avaliação ficará por conta da equipe técnica do projeto (**GTE**) a fim de gerar os primeiros dados para futuro aprendizado de *Machine Learning* (ML). Para isso, é importante capturar de forma macro os resultados que tais ações trarão de benefício técnico, econômico e conhecimento ao serem executadas.

Para o posto de trabalho P08, a sugestão dos especialistas foi a aplicação da tecnologia de robô colaborativo e manufatura aditiva nesse processo, transformando o posto de trabalho manual em um posto automatizado.

Uma breve avaliação do potencial ganho gerado por esse projeto, segundo a opinião desses especialistas baseados na Matriz “X”, é a obtenção de **Benefícios de Produtividade e Condições de trabalho**. Esses dois benefícios, quando relacionados aos indicadores de ENTRADA e SAÍDA do modelo, mencionados no tópico 4.1.1 (*PQCDSM*), fazem referência à letra **P** – Produtividade e **S** – Segurança.

Dentre os diversos indicadores de desempenho de uma linha de produção, o indicador de produtividade é fundamental para que a indústria se mantenha competitiva. A produtividade pode ser medida através da razão entre número de peças produzidas pelo número de colaboradores que trabalham nessa linha.

Equação 1 - Produtividade (Hora)

$$\text{Produtividade (Hora)} = \text{Número de peças produzidas} / \text{Número de colaboradores}$$

A produtividade medida em uma hora de produção dessa linha de produção é de **218 peças/colaborador**.

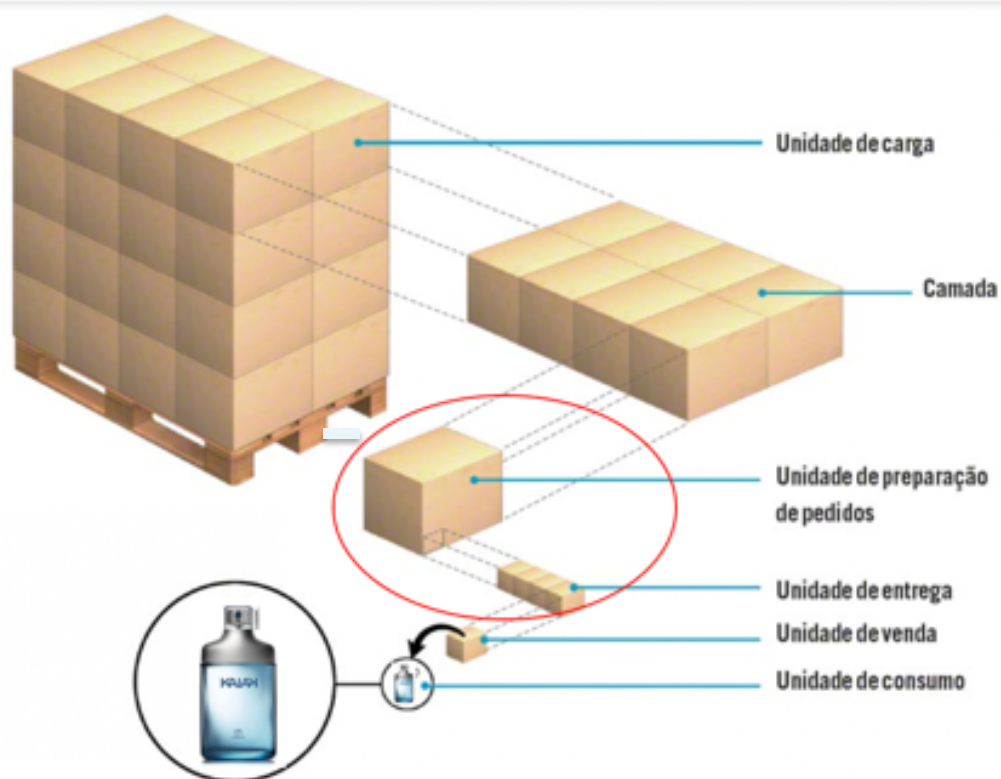
Outro indicador importante, com foco na questão de segurança, se refere às condições de trabalho. O posto P08 possui tarefas repetitivas que podem causar lesões e doenças aos colaboradores, com consequências em absenteísmo, dias perdidos, afastamentos.

4.3. Execução

Levando-se em consideração que a etapa de Recomendação indicou a possibilidade de aplicação da tecnologia de robôs colaborativos e manufatura aditiva no posto **P08**, a Metodologia Ágil foi empregada na etapa de Execução na condução do projeto de introdução dessa nova tecnologia.

Conforme a Figura 36, os produtos passam por várias unidades de embalagem para chegar à unidade de carga. No caso desse projeto, foi aplicada a metodologia e realizada a automatização do posto de trabalho utilizando um robô colaborativo no processo em que a unidade de entrega é colocada na unidade de preparação de pedidos. A escolha desse processo é oportuna, pois na fábrica existem diversos postos de trabalho semelhantes de encaixotamento manual e uma vez comprovado sucesso dessa aplicação, a solução poderia facilmente ser reaplicada em outra linha de produção.

Figura 36 – Etapas de Embalagem de Produto



Fonte: Autoria Própria

No processo manual de embalagem (Figura 37), originalmente o colaborador da empresa coloca os produtos acabados na caixa de embarque para transporte de produto.

Figura 37 – Processo Realizado de Forma Manual – Encaixotar Produto



Fonte: Autoria Própria

Um exemplo de aplicação da método *Scrum* para ilustrar a aplicação da Metodologia Ágil de projeto, foi o *Sprint* para a definição da “Garra” a ser adaptada no braço do robô colaborativo. O *Sprint*, com duração de uma semana, foi bem-sucedido ao entregar a definição da melhor garra do robô para essa aplicação.

A garra é responsável por pegar o produto e soltar dentro da caixa de embarque, e a grande dúvida era se a equipe deveria projetar uma garra especialmente elaborada com um mecanismo sofisticado para pegar o produto ou se seria possível colocar o produto dentro da caixa de embarque simplesmente por gravidade. A questão respondida ao final desse *Sprint* foi a comprovação que as embalagens envolvidas por um celofane plástico deslizam facilmente por gravidade, sem atrito, no momento da transferência, conforme mostrado nas Figura 38 e Figura 39.

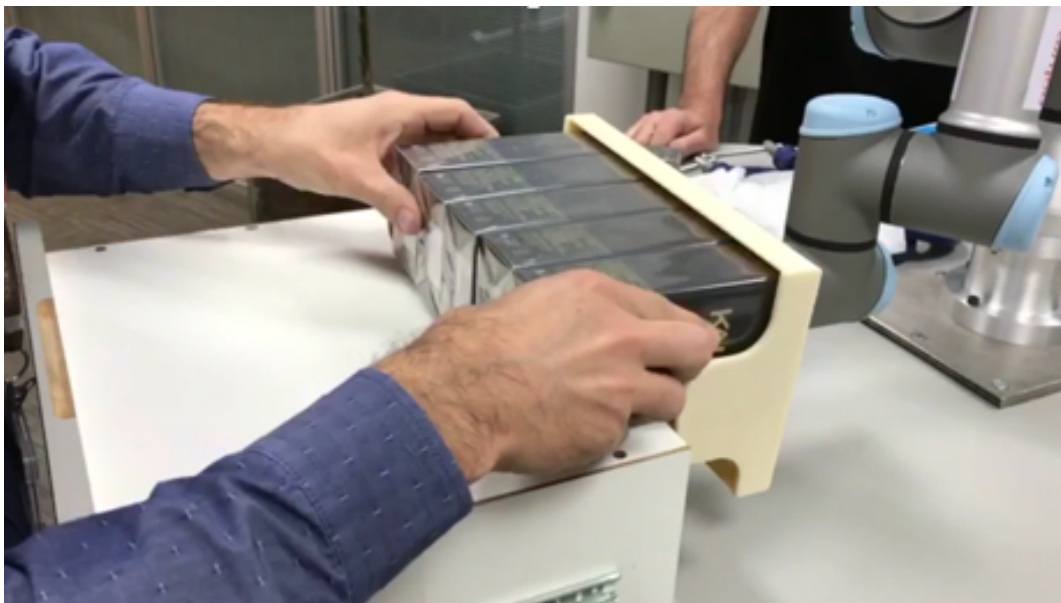
Exemplos como esse de validação informam qual é a melhor solução para projeto. Além disso, a Metodologia Ágil dá a liberdade para criar e inovar, permitindo

que testes de novas funcionalidades sejam feitos de forma rápida e assim escolher o melhor caminho a seguir como proposta de projeto.

No caso desse *Sprint* em especial, foram realizadas várias sub tarefas para a validação, *feedback* e entrega do *Sprint*:

- ❖ Coleta de informações;
- ❖ Desenho das embalagens;
- ❖ Desenho do flange para conexão com robô;
- ❖ Impressão 3D do flange;
- ❖ Desenho da proposta da garra;
- ❖ Simulação do centro de gravidade;
- ❖ Impressão 3D da garra;
- ❖ Coleta de amostras de produtos;
- ❖ Montagem dos conjuntos impressos no robô em bancada;
- ❖ Programação do robô e testes de validação.

Figura 38 – Teste do Sprint do Produto na Garra



Fonte: Autoria Própria

Figura 39 – Teste do Sprint do Adicionamento do Produto na Caixa de Embarque



Fonte: Aatoria Própria

Foi identificado nesses testes que a velocidade de ciclos de robô colaborativo é baixa sendo necessário um *layout* otimizado, com um menor curso de trabalho e a alimentação simultânea de duas caixas para conseguir atingir a velocidade adequada de ciclo.

A linha de produção produz 40 peças por minuto e a velocidade de ciclo do robô é de 14 ciclos por minuto. A divisão de 40 peças por 14 ciclos indica que o robô deveria pegar pelo menos 2,86 peças/minuto para atender a velocidade da linha de produção, contudo existem outros micros processos que consomem tempo de ciclo do robô, por exemplo, a troca de caixa cheia para uma vazia na posição de carregamento.

A princípio, a garra foi projetada e impressa em uma impressora 3D para “pegar” 5 produtos por vez, mas isso tornou-se uma barreira para implementação da solução. Após as simulações realizadas nos *Sprints* do projeto, foi desenvolvida uma garra dupla, com capacidade de 5 produtos de cada lado para carregar duas caixas simultaneamente. Essa solução possibilitou a superação da barreira de velocidade da linha de produção versus a velocidade de ciclos do robô.

A velocidade na implementação de projetos de novas tecnologias da I4.0 utilizando a Metodologia Ágil de projetos, foi comprovada no experimento de

implantação de um robô colaborativo no processo de encaixotamento de produtos, e os resultados foram satisfatórios comprovando sua eficácia.

Com os testes e entregas das tarefas dos *Sprints*, o projeto foi tomando forma e a equipe engajada seguindo a metodologia superou a expectativa de inovação, agilidade e entrega do projeto.

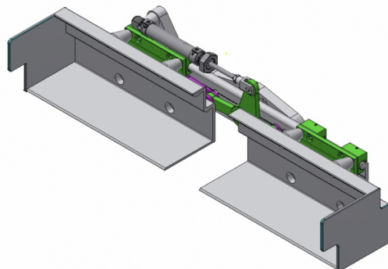
Todos os elementos de máquina do projeto foram desenhados com auxílio de um *software* de desenho em computador e todas as ordens de confecção de peças de usinagem, impressão 3D (Figura 40 – Quadro Resumo do Resultado da Etapa Execução) e montagens foram extraídas desse *software*.

Figura 40 – Quadro Resumo do Resultado da Etapa Execução

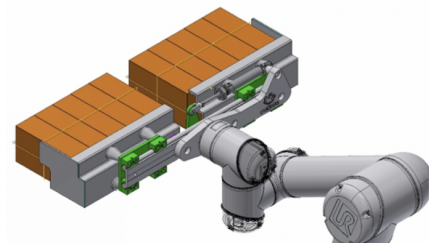


Etapa Execução do Modelo DREAM

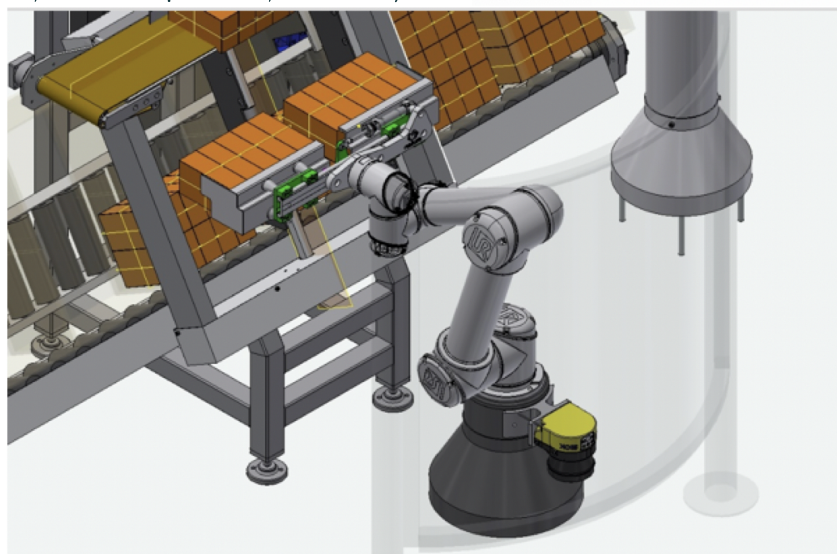
a) Projeto final da garra do robô



b) Simulações de montagem



c) Simulação de implantação no layout da fábrica



Fonte: Autoria Própria

Para evitar erros de projeto, *Sprints* específicos para simulações das soluções, foram realizados, garantindo a viabilidade das montagens e interações entre as peças, tal como mostrado na Figura 40 item b. Por fim, o desenho da proposta foi inserido no layout real da fábrica para visualizar qualquer tipo de interferência que o projeto poderia causar (Figura 40 item c).

Todas as tarefas realizadas na etapa **Execução** do Modelo DREAM, utilizando a Metodologia Ágil de projetos auxiliaram a equipe e ser mais produtiva, a se antecipar à erros e entregar o projeto em um prazo bem menor do que em projetos elaborados de forma tradicional. A **Tabela II** – Comparação de Tempo de Projeto das Metodologias demonstra esse resultado obtido comparando o tempo de projetos realizados na metodologia convencional e na metodologia ágil de projeto, para a aplicações similares de encaixotamento de produto.

Tabela II – Comparação de Tempo de Projeto das Metodologias

Metodologia	Tempo de duração do projeto
Convencional	120 dias
Ágil	53 dias

Fonte: Autoria Própria

4.4. Avaliação

A etapa Avaliação do **Modelo DREAM** tem o objetivo de comparar os resultados obtidos no Diagnóstico com os resultados após a implementação do projeto. A exemplo do ciclo PDCA, o Check de avaliação é importantíssimo, pois dá à equipe de execução uma validação dos resultados obtidos.

O resultado original de Diagnóstico foi publicado no *Dashboard* na Figura 32 e demonstrou que o processo do objeto de estudo encontrava-se no Nível de Informatização na escala de maturidade da ACATECH.

A etapa de Recomendação indicou a utilização de robôs colaborativos e o uso de manufatura aditiva no processo. E usando a Metodologia Ágil de projetos na etapa de Execução foram aplicadas novas tecnologias da I4.0.

No Quadro Resumo apresentado na Figura 41, é possível observar a comparação entre o “*status*” original do processo versus o resultado final após a implementação das melhorias.

Nota-se que se obteve um aumento de 12 pontos percentuais na avaliação geral do processo, a avaliação predominante era “muito baixa” e passou a ser “muito boa” e o “score” do nível de maturidade (informatização) que anteriormente era de 66,39%, passou a ser 92,3%.

Figura 41 – Quadro Resumo do Resultado da Etapa Avaliação



Fonte: Autoria Própria

Com tal avaliação positiva, o processo atinge “score” superior a 85% e passa para o próximo nível de maturidade. Conforme indicado na Figura 21, o modelo é cíclico, então é proposta a aplicação de um ou mais novos projetos para outro avanço no nível de maturidade utilizando outras tecnologias relacionadas a esse novo nível de maturidade, como foi apresentado na Figura 15.

4.5. Multiplicação

A primeira questão a ser respondida nessa etapa é: **Esse projeto pode ser replicado?**

Para ajudar os profissionais a responder essa questão, o **Modelo DREAM** sugere na etapa de Multiplicação que se faça uma análise dos principais indicadores relacionados às estratégias da empresa. Toma-se como premissa que todo projeto deve gerar um retorno dos investimentos e quando se trata de reaplicação, esse retorno deve ser ainda maior. A Figura 42 apresenta alguns resultados gerenciais alinhados com o PQCDMS obtidos no desenvolvimento desse projeto. É apresentado o resultado desses indicadores fazendo um comparativo do posto de trabalho P08 antes e depois da implementação do projeto de introdução de um robô colaborativo, instalado na linha de produção para o encaixotamento de produtos e executado por meio da Metodologia Ágil de projetos.

Os resultados são expressivos, uma vez que foi obtido um aumento de 10% na produtividade da linha de envase com tal implementação da tecnologia e ainda um tempo de implantação do projeto equivalente a 44% ao ser comparado à um projeto realizado de forma tradicional, ou seja, uma redução de 56% no tempo de projeto.

Figura 42 – Consolidação de Resultados do Projeto

Consolidação de Resultados do Projeto

Tecnologias de robôs colaborativos e manufatura aditiva implementadas

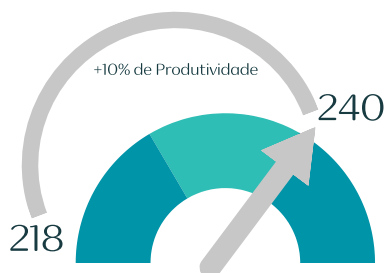
Antes



Depois



Redução no Tempo de Projeto



Aumento de Produtividade



Eliminação dos Riscos Ergonômicos

Fonte: Autoria Própria

Com a instalação bem-sucedida do robô colaborativo, foi eliminado o posto de trabalho P08 da linha de produção, reduzindo de 11 para 10 o número de postos de trabalho, conseqüentemente a medição de produtividade dessa linha alcançou **240 peças/colaborador**, o que significa um aumento de 10% de produtividade. Na questão de segurança e condições de trabalho, com a automatização do posto de trabalho P08, foram eliminadas as tarefas manuais repetitivas com potenciais riscos de Lesão por Esforço Repetitivo (**L.E.R.**) no posto de trabalho.

É importante reforçar a utilização da tecnologia de Manufatura Aditiva nesse projeto, resultando em agilidade no desenvolvimento das peças e elementos de máquina que foram utilizados nessa aplicação. Essa agilidade foi demonstrada pela redução do tempo de execução de implantação do projeto de implantação, conforme indicado na Figura 42.

Nesse estudo de caso, é percebida a evolução do projeto e todo o potencial que a **Multiplicação** pode gerar e, ao visitar outros postos de trabalho manuais de encaixotamento em outros processos ou linhas de produção, a aprovação de reaplicação com novos investimentos foi realizada e foram executadas nas linhas **G#2, G#4, G#5, G#9** e linhas **PKB #1 e #2** da mesma fábrica, ou seja, mais 6 robôs colaborativos para encaixotamento de produto foram implantados.

Além disso, o aprendizado com a tecnologia de robôs colaborativos foi muito grande, dando a segurança para o grupo de especialistas (**GTE**) recomendarem a aplicação dela em outros postos de trabalho.

Recorrendo novamente à Figura 10 – Layout da linha (G#03), os especialistas notaram a oportunidade de aplicar a tecnologia de robôs colaborativos aos postos de trabalho P03, P05, P06, P07 e P10, para as tarefas apresentadas em destaque na Figura 43.

Figura 43 – Multiplicação - Potenciais postos de trabalho para robô colaborativo

					OU			
					90	👉	Realizar o refluxo de materiais	
70	X	X			10	👉	Abastecer esteira de codificação c/ frasco, posicionar o mesmo corretamente p/ ser codificado na laser.	POSTO #3
80	X				10	👉	conferir codificação no fundo do frasco e abastecer pucks c/ frascos.	POSTO #10
90					10	👉	Abastecer tampa na esteira colocando as tampas na posição correta. E separando as bandejas.	POSTO #5
100	X	X	X		10	👉	Colocar e posicionar o acionador na válvula até sentir o clique e fechar	POSTO #6 #7
110	X	X			10		Abastecer o magazine de cartucho e protetor	POSTO #4
					20		Operar Kalix	
					10		Verificar gravação de validade no cartucho	
110	X	X	X		20		Verificar condições de celofanagem	POSTO #8
					30		Encaixotar o produto acabado na caixa padrão c/ 28 unidades.	
					10	👉	Abastecer a mesa da PRB com caixas vazias	
120	✓	✓			20	👉	Colar estiquete 7PAC na caixa	POSTO #9

Fonte: Autoria Própria

Conforme a Figura 43, foi desenvolvida uma solução de projeto capaz de substituir os postos de trabalho **P03** e **P10** com um único robô colaborativo. O posto **P05**, com a tarefa **90 – Abastecer tampa no trilho**, foi substituído por um robô e os postos, **P06** e **P07** por outro robô colaborativo.

Da mesma forma, foi aplicada a Metodologia Ágil de projetos e foi obtido sucesso nessas implementações. A Figura 44 reúne as aplicações de robôs colaborativos nos outros postos de trabalho propostos e compara as atividades realizadas de forma manual com as imagens de robôs colaborativos realizando as mesmas atividades de forma automatizada.

Figura 44 – Quadro Resumo do Resultado da Etapa Multiplicação

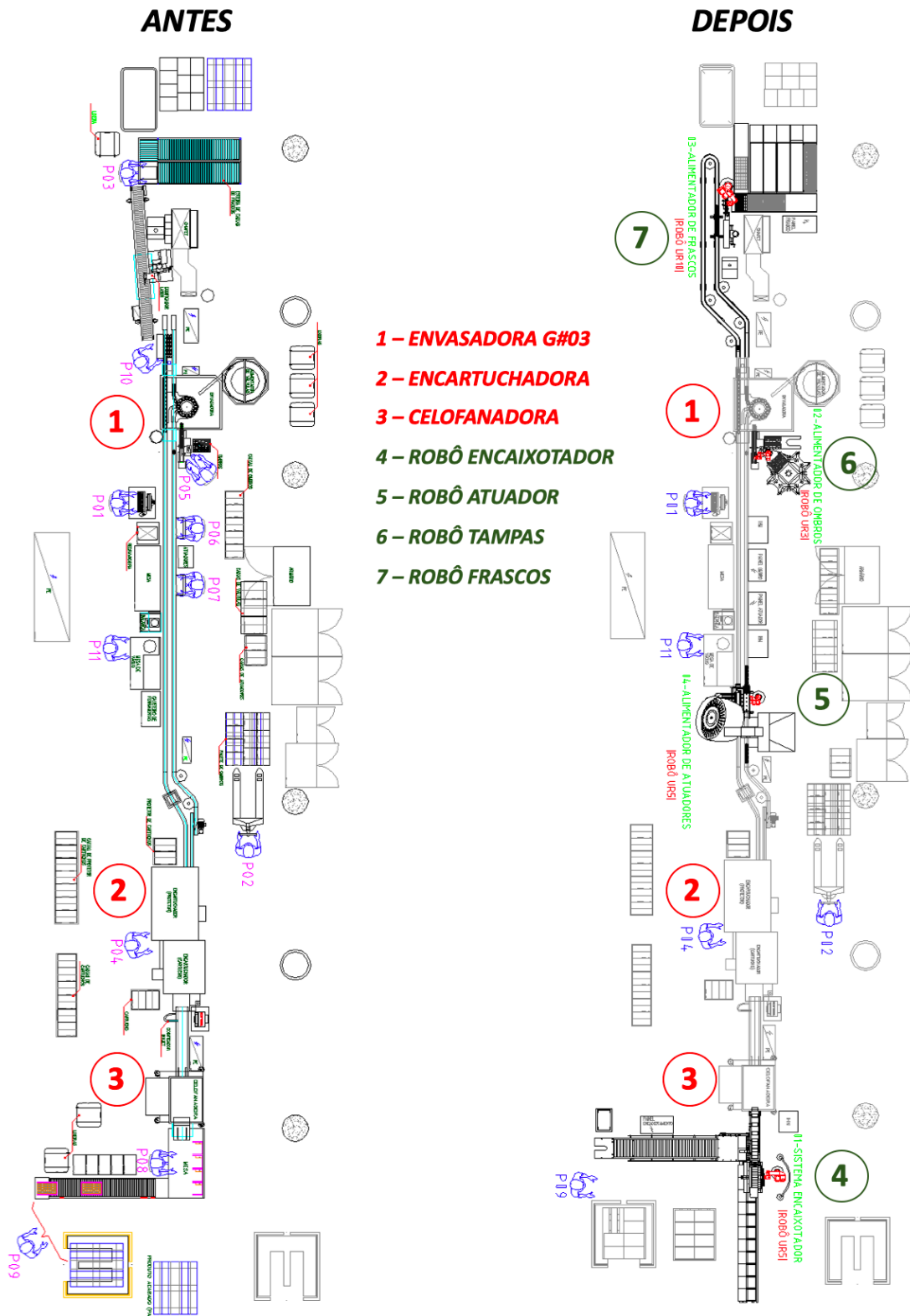


Fonte: Autoria Própria

A Figura 45 faz um comparativo do *layout* da linha de produção antes e o depois da implementação dos projetos de robôs colaborativos. Nesse estudo de caso é perceptível o avanço de tecnologia instalada nessa linha de produção passando de

3 equipamentos com 11 postos de trabalho, vários deles manuais, para 7 equipamentos com 5 postos de trabalho. O ganho de produtividade foi intensificado com a reaplicação da tecnologia de robô colaborativo nesses outros postos de trabalho. Utilizando o mesmo cálculo de produtividade, com a redução de mais 5 postos de trabalho com a instalação desses 3 novos robôs, a produtividade medida é de 480 peças por colaborador, ou seja, a linha de produção que possuía 218 peças/colaborador (hora) passou a ter 480 peças/colaborador (hora), **um aumento de 220% no indicador de produtividade**. Conseqüentemente, o custo de conversão de manufatura é inversamente proporcional a essa produtividade gerada, pois o menor número de pessoas trabalhando na linha de produção resulta em uma redução importante nos custos e despesas para a produção.

Figura 45 – Comparação do Layout Antes versus Depois dos Projetos



Fonte: Autoria Própria

4.6. Outros Resultados Aplicando Tecnologias a Partir do Modelo DREAM

Após a demonstração da aplicação do Modelo DREAM no estudo de caso, da qual foi obtido um avanço do nível de maturidade (Informatização) em que o objeto de estudo se encontrava para o nível acima, apresentam-se nessa seção outras soluções de aplicação de tecnologia que contribuiriam para atingir o objetivo do presente trabalho.

Como já demonstrado na Figura 7, a I4.0 possui níveis de maturidade e o **Modelo DREAM** tem o objetivo de potencializar o uso de novas tecnologias na indústria, de forma a realizar avanços nesses níveis.

4.6.1. Avanço do Nível Informatização para Conectividade

O modelo partiu do **Nível #1 de Maturidade**, ou seja, o nível de Informatização, com a adoção das tecnologias iniciais de Robôs Colaborativos e Manufatura Aditiva conforme a recomendação da Figura 22 – Matriz “X” dos Atributos da I4.0.

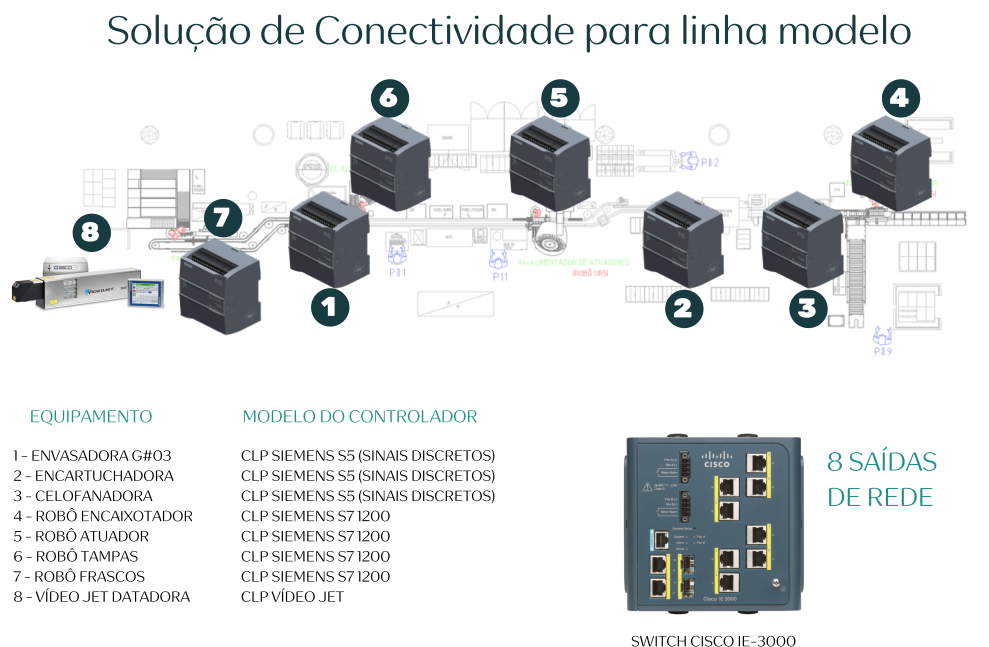
O mesmo processo acontece para o avanço no Nível #2 de Conectividade. É obtida a **Recomendação** de tecnologias recorrendo a Matriz “X”. É feita a **Execução** do projeto seguindo a Metodologia Ágil de projetos. Realizada a **Avaliação** e a potencial **Multiplicação** do projeto, aplicando as etapas do Modelo DREAM. Esse processo de avanço foi demonstrado no fluxo de aplicação do Modelo DREAM para evolução da maturidade na Figura 21.

Durante o desenvolvimento desse modelo, uma das grandes barreiras de implementação das tecnologias da I4.0 foi a solução para a conectividade e comunicação entre máquinas e equipamentos. No nível 2 de maturidade foi mapeado que as tecnologias mais recomendadas nesse momento são: Integração Horizontal e Vertical de Sistemas e Segurança Cibernética.

Uma das formas de gerar uma Integração Horizontal e Vertical de Sistemas é “habilitar” a comunicação M2M (*Machine to Machine*) por meio da aplicação da tecnologia de rede ethernet. Na Figura 46 mostra-se que a linha de produção (G#03) possui 8 equipamentos, todos eles trabalham de forma isolada e não há a troca de informações entre eles. Para obter a integração é necessário avanços de

conectividade através de uma rede de comunicação entre os dispositivos desses equipamentos.

Figura 46 - Solução de Conectividade para linha modelo



Fonte: Autoria Própria

Como solução para vencer a barreira de conectividade, foi recomendada a instalação um *Switch* Industrial de rede *Ethernet* com 8 saídas, uma para cada um dos equipamentos da linha. Toda a infraestrutura de rede teve a certificação dos cabos de conexão com todas as recomendações técnicas de boas práticas de instalação.

Um dos grandes desafios para a aplicação da I4.0 no Brasil é o fato que os parques industriais brasileiros possuem uma diversidade muito grande de tecnologias e há um legado enorme de equipamentos obsoletos, sendo um grande problema a ser superado. No caso do objeto de estudo, conforme a Figura 46, observa-se que os equipamentos originais da linha utilizam um modelo de Controlador Lógico Programável (CLP) obsoleto, que possui apenas sinais discretos.

Na linha G#03 só foi possível alcançar o nível de Conectividade com a digitalização dos sinais dos equipamentos. Foi adotado um padrão híbrido para viabilizar a conexão de todas as estações da linha. Essa conectividade híbrida, consiste em realizar a conexão utilizando os diversos protocolos industriais

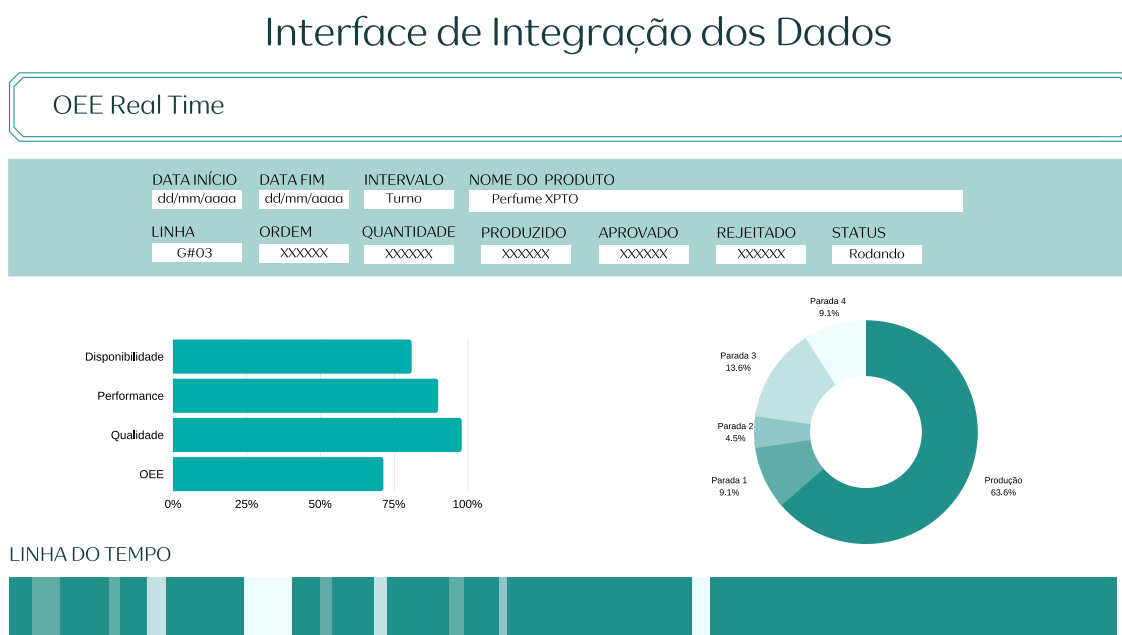
disponíveis nos CLPs mais novos e também os sinais discretos dos CLPs mais antigos.

Como esse processo envolve mais de um protocolo de comunicação industrial, dificultando a troca de sinais entre CLPs, foi utilizado um servidor OPC (*Ole for Process Control*), que funciona como uma espécie de dicionário, traduzindo diversos protocolos industriais em um protocolo único. Em seguida, os sinais desejados foram roteados utilizando o software *OPC Router* para o CLP destino.

4.6.2. Benefícios de Produtividade com Aumento de OEE

Todos os dados gerados pelos CLPs dos equipamentos conectados são capturados e armazenados em um banco de dados SQL. Os dados, como, por exemplo, Velocidade dos Equipamentos, Peças Boas Produzidas, Peças Rejeitadas, Alarmes, Equipamento Rodando, Equipamento Parado, entre outros, são tratados por uma interface que integra toda informação e disponibiliza em relatórios operacionais.

O OEE (do Inglês, *Overall Equipment Effectiveness*) é um indicador globalmente conhecido nas indústrias, sendo uma medida chave para avaliar o índice de produtividade da linha de produção e da fábrica. Os dados capturados através da solução de conectividade entre equipamentos permitiram que relatórios operacionais desse indicador fossem disponibilizados em tempo real. Esses relatórios também apresentam os motivos e tempos de paradas visualizados de forma simples, conforme Figura 47.

Figura 47 – Interface de Integração dos Dados

Fonte: Autoria Própria

A Interface de Integração de Dados da Figura 47 apresenta qual o resultado de OEE da linha de produção e quais falhas/alarmes causam o impacto de linha fora de operação. A partir dessas informações, as equipes de fábrica podem entender os problemas e atacar os principais causadores de *Downtime* (linha fora de operação) e assim elevar o resultado de produtividade.

Após a implementação das tecnologias de conectividade na linha e os projetos de melhoria contínua a partir da análise dos dados, a linha G#03 teve um aumento de 10 pontos percentuais no indicador de OEE, chegando ao nível de 73%, resultado de referência mundial quando comparado à outras empresas do setor de bens de consumo. Tal aumento é expressivo e significa uma produção adicional 1,2 milhões de produtos em um ano.

4.6.3. Avanço do Nível Conectividade para Visibilidade

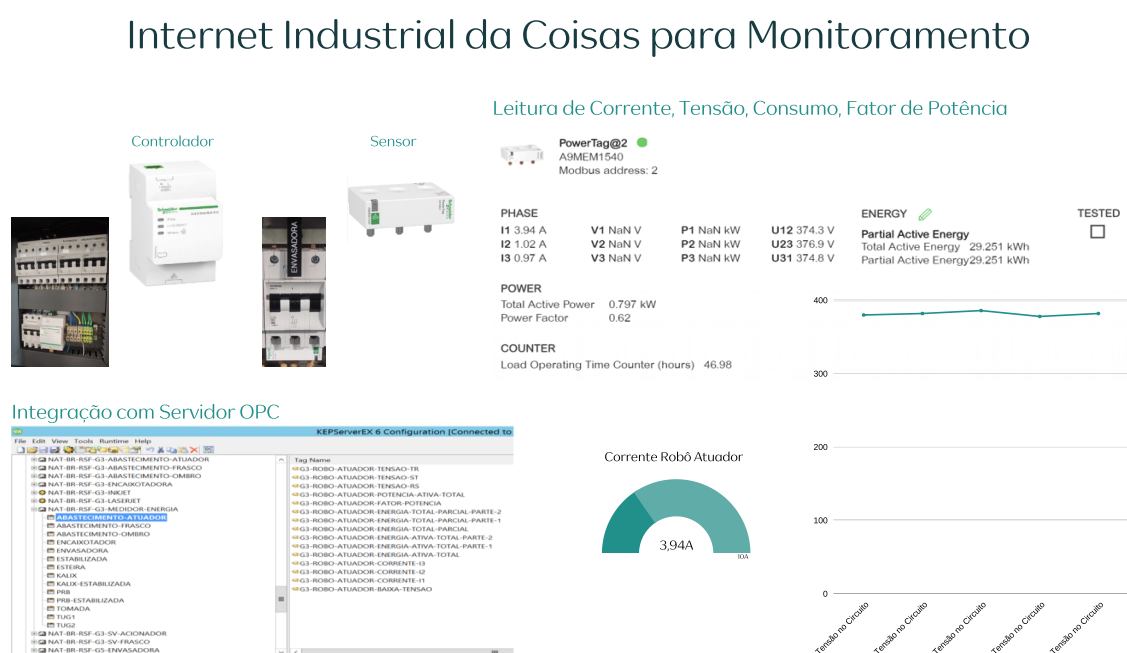
Após diversas tecnologias, soluções e resultados obtidos no **Nível #2 de Conectividade** de Maturidade da I4.0, o passo seguinte é o **Nível #3 de Visibilidade**. É nesse nível que, segundo a matriz “X”, que é aplicada a tecnologia da IIoT.

O uso da IIoT é muito recomendado, a Figura 23 demonstra que essa tecnologia contribui com 18,39% para a I4.0 e o Nível de Maturidade de Visibilidade é o nível que mais contribui para a obtenção dos benefícios de seus benefícios conforme a Figura 24 – Relação Nível de Maturidade versus Benefícios.

O Nível #2 de Conectividade permitiu a integração de máquinas e equipamentos, obtendo em tempo real muitos dados dos sistemas conectados. Adicionando novos sensores no processo a partir do Nível #3 de Visibilidade, são obtidas novas variáveis que podem ser comparadas com outros dados e informações e, à medida que são disponibilizadas para todos os integrantes, uma nova forma de gestão dos ativos e de pessoas passa a acontecer nas fábricas inteligentes.

Um dos projetos realizado na linha G#03 nessa etapa foi a instalação de sensores de corrente e tensão no quadro de distribuição de energia elétrica da linha conforme ilustra a Figura 48.

Figura 48 – Internet Industrial das Coisas para Monitoramento



Fonte: Autoria Própria

Ao adicionar novos sensores no processo, o nível de visibilidade torna-se mais robusto pois conta com novas variáveis de processo disponíveis e visíveis. Tal visibilidade de dados aumenta a disponibilidade de informação em tempo real e

auxilia no monitoramento dos equipamentos, colaborando para a antecipação de potenciais falhas.

Com a adição dos sensores de corrente e tensão, na linha de produção (G#03), é possível observar um desbalanceamento entre as correntes nas três fases. Além disso foi possível detectar que o fator de potência no circuito está muito baixo. Esses dois indicadores dão visibilidade para tomada de ação em tratar esses desvios corrigindo o balanceamento das cargas ligadas ao circuito e o baixo fator de potência.

Quanto mais sensores de IIoT conectados aos equipamentos mais visibilidade do processo se obtêm, e com isso, decisões são baseadas nos dados coletados.

5. CONCLUSÃO

O objetivo deste capítulo é apresentar as conclusões sobre o trabalho desenvolvido, divididas em três partes a fim de torná-lo mais organizado, fornecendo ao leitor a conclusão dos principais tópicos.

5.1. Dos Objetivos

Analisando a estrutura do trabalho na **Figura 1**, é resgatado o principal objetivo de propor um modelo para a introdução de novas tecnologias em processos industriais no contexto da I4.0 e, tal objetivo foi atingido com a estruturação do modelo que contempla conteúdo prático e acadêmico possibilitando atingir resultados de aplicação de novas tecnologias e avanços nos níveis de maturidade, conforme demonstrado.

Foi apresentado o arcabouço do **Modelo DREAM** que reúne as cinco etapas de desenvolvimento para a aplicação de novas tecnologias, conforme mostra a Figura 20 – Framework do Modelo DREAM para a I4.0. As etapas do modelo proposto são: **Diagnóstico**, **Recomendação**, **Execução**, **Avaliação** e **Multiplicação**. Cada uma das etapas foi apresentada nas seções 3.5.1 a 3.5.5 e o objetivo de cada uma delas na proposta do modelo.

O posto de trabalho P08 da linha G#03, foi o objeto de estudo desse trabalho e no Capítulo 4 foram apresentados os resultados práticos da aplicação do modelo conforme apresentado nos quadros resumos das Figura 34, Figura 35, Figura 40, Figura 41 e Figura 44.

De forma organizada e estruturada, o **Modelo DREAM** disponibiliza aos profissionais um passo-a-passo para a Introdução de Novas Tecnologias em Processos Industriais que permite a evolução gradativa do nível de maturidade dos diversos processos fabris até atingir as características necessárias que qualificam o novo paradigma da I4.0. Fornece também orientações técnicas e gerenciais para as empresas se capacitarem no contexto da I4.0. Além disso, os gráficos e imagens geradas nesse trabalho constituem ferramentas práticas para auxiliar os profissionais a priorizar, por nível de maturidade, a sequência de introdução das tecnologias habilitadoras nas fábricas, conforme foi apresentada na Figura 15 – Relação Nível de Maturidade versus Tecnologia Habilitadora.

Com o modelo proposto, é possível relacionar a aplicação da Tecnologia com os Benefícios que ela pode gerar. A Figura 22 – Matriz “X” dos Atributos da I4.0 apresenta essas relações dos quatro pilares fundamentais para a I4.0.

Diante do exposto, conclui-se que o objetivo do trabalho foi atendido, pois a forma como os experimentos foram construídos bem como os resultados que foram alcançados validam o modelo e atendem as expectativas desse trabalho.

Para os objetivos específicos, conclui-se que:

Ao aplicar as ferramentas conhecidas como fluxo de processo, matrizes, *checklist* e a metodologia ágil de projetos para construir o Modelo DREAM de Introdução de Novas Tecnologias em Processos Industriais no Contexto da I4.0, o objetivo específico **Customizar ferramentas de gestão de mercado, aplicando-as de forma otimizada na I4.0** foi atingido ao relacionar o modelo com as ferramentas de mercado. Na seção 3.6 demonstrou-se que as etapas do modelo DREAM estão relacionadas com o ciclo muito conhecido do PDCA, ferramenta amplamente utilizada na indústria desde a década de 50.

O objetivo específico **Com base na literatura, explorar os benefícios envolvidos na aplicação de projetos para a I4.0** foi atingido ao abordar o item 2.3 desse trabalho, com a aplicação dos robôs colaborativos por exemplo, obtendo-se um aumento de 10% de produtividade (seção 2.3.1) na primeira aplicação da tecnologia e quando escalada, na etapa de Multiplicação, o aumento de produtividade chegou a 220%. O uso de Metodologia Ágil de projeto reduziu o tempo de implementação dos projetos e deu a liberdade necessária para a inovação. Com a aplicação de sensores de IIoT, o benefício de Dados em Tempo Real (seção 2.3.2) foi atingido, e como exemplo o trabalho citou a aplicação de sensores de tensão e corrente elétrica nos equipamentos. A conectividade e visibilidade dos dados do chão de fábrica, implementados nesse estudo de caso, possibilitaram o maior entendimento de falhas e estabelecimento de alarmes preventivos que corroboram com o benefício de Maior Continuidade dos Negócios e Manutenção Avançada (seção 2.3.3).

Estruturar a proposta do Modelo DREAM, a partir de um estudo de caso real e da troca de informações com profissionais de mercado, contribuiu para atingir o objetivo de **Desenvolver um método a partir dos aprendizados de tentativas de aplicação das tecnologias em casos reais**, pois de forma organizada e muito produtiva, diversos profissionais contribuíram com suas experiências para construir

e aprimorar o modelo. O trabalho contou com os fóruns de discussões (WF) e (GTE), formados por profissionais de mercado conforme apresentado na Figura 18 – Profissões no Grupo WF da I4.0 e por profissionais da empresa que testaram e implementaram a aplicação das novas tecnologias, primeiramente no ambiente controlado (Laboratório 4.0) e depois no estudo de caso. Como evidenciado na Tabela I – Lista de Aprendizados de Projetos, durante a realização dos testes foram capturadas as “barreiras” impeditivas para evolução e propostas soluções alternativas para superar tais barreiras nos fóruns de discussões.

Por fim, como já comentado, os resultados no Capítulo 4 corroboram para o atingimento do último objetivo, ***Evidenciar os resultados obtidos da aplicação de algumas dessas tecnologias instaladas em um processo escolhido como caso de estudo.*** Além de resultados relacionados a gestão, como por exemplo, avanço nos níveis de maturidade, redução de tempo de projetos, uso de ferramentas estruturadas para tomada de decisão, foram obtidos resultados que impactam diretamente na estratégia da empresa, alinhados ao PQCDMS. Os projetos de aplicação de novas tecnologias obtidos pelo Modelo DREAM contribuem para aumento de produtividade, redução dos custos de conversão, aumento do OEE, redução de falhas e *Downtime* e outros benefícios importantes como a disponibilidade de Dados em Tempo de Real, Manutenção Avançada e melhoria nas Condições de Trabalho.

5.2. Da Aplicabilidade

A aplicação do modelo proposto no caso de estudo escolhido mostrou-se eficaz, pois cumpriu com os objetivos estabelecidos no trabalho. As ferramentas elaboradas são de fácil aplicação, uma vez que já são conhecidas pelos profissionais da indústria. Ainda há oportunidade de aplicar o modelo em outros processos fabris de outros setores para medir e comparar resultados.

Existe uma grande procura para as soluções da I4.0, conforme explanado nesse trabalho. Os países desenvolvidos estão atualmente investindo em diversas pesquisas nesse contexto. Uma vez que existe esse movimento global, inicia-se uma demanda muito grande para o desenvolvimento de tecnologias, projetos, profissionais preparados e casos reais de aplicação da I4.0.

Nesse contexto, a existência de um modelo estruturado para auxiliar os profissionais nesse desenvolvimento é muito importante.

O conceito da I4.0 não é restrito apenas a um determinado tipo de indústria ou negócio, mas as fábricas inteligentes podem ser constituídas em diversos setores e seguimentos de mercado. O **Modelo DREAM para a I4.0** foi desenvolvido e aplicado em uma empresa de cosméticos, mas pode ser aplicado em processos de empresas de outros setores.

Como demonstrado nesse trabalho, o tema da I4.0 é muito demandado e há milhões de dólares sendo investidos na realização de projetos aplicando novas tecnologias, visando colher os benefícios desse novo estado da arte da Indústria. Consequentemente, um modelo comprovado e bem-sucedido será de grande contribuição para as Indústrias e Profissionais, particularmente no cenário brasileiro.

5.3. Sugestões para Trabalhos Futuros

A I4.0 é repleta de desafios e oportunidades. Nesse trabalho foi evidenciado como pode ser estruturado um modelo para a implementação de tecnologias na I4.0, e o estudo de caso aqui apresentado demonstra a efetividade do **Modelo DREAM para a I4.0**, bem como os benefícios da aplicação de robôs colaborativos, manufatura aditiva e outras tecnologias em um processo real da indústria brasileira.

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se citar a necessidade de pesquisar a aplicabilidade desse modelo em outros setores da indústria e utilizar as ferramentas sugeridas nesse trabalho para ampliar o método proposto para a validação do Modelo DREAM como uma ferramenta importante para o desenvolvimento da I4.0 no Brasil.

Pelo fato do preenchimento de questionários (*checklist*) estar sujeito a subjetividade, acredita-se que a transformação da subjetividade em algo quantificável forneceria maior assertividade nos resultados. Para isso, sugere-se realizar estudos de técnicas de análise multicritérios ou aplicação da *Lógica Fuzzy* para eliminar essa subjetividade e tornar o *Checklist DREAM* uma ferramenta mais precisa.

Outra possibilidade de pesquisa é aprofundar na aplicação de outras tecnologias, registrando-se casos reais a serem compartilhados para os profissionais de mercado.

Estudar os impactos sociais da I4.0 na questão de Liderança, Empregabilidade, Comportamentos é outra sugestão para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

Enfim existem diversas áreas de pesquisa quando é tratado o tema da I4.0 e gerar conhecimento sobre esse tema ajudará os profissionais brasileiros a alcançarem um novo patamar de produtividade nessa Quarta Revolução Industrial.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA INDUSNET FIESP. **FIESP Identifica desafios da Indústria 4.0 no Brasil e apresenta propostas**. São Paulo: Agência Indusnet Fiesp, 2018.

AGILE ALIANCE. What is Agile? **Agilealliance.org**, 2019. Disponível em: <<https://www.agilealliance.org/agile101/>>. Acesso em: 12 fevereiro 2019.

BANGEMANN, T. E. A. **Integration of Classical Components Into Industrial Cyber-Physical Systems**. [S.l.]: Proceedings of the IEEE, v. 104, n. 5, p. 947-959, 2016.

BASL, J. **Pilot Study of Readiness of Czech Companies to Implement the Principles of Industry 4.0**. [S.l.]: Management and Production Engineering Review, v. 8, n. 2, p. 3-8, 2017.

BASSETO, A. L. C. **Modelo de Maturidade para a análise das indústrias no contexto da Indústria 4.0**. Ponta Grossa: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.

BAUER, E. E. A. **Towards a security baseline for IaaS-cloud back-ends in Industry 4.0**. Cambridge: 2017 12th International Conference for Internet Technology and Secured Transactions, 2018.

BAUER, W. et al. **Industrie 4.0– volkswirtschaftliches potenzial**. Berlin: [s.n.], 2014.

BRETTEL, M. et al. How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. **Open Science Index, Information and Communication Engineering**, v. 8, n. 1, agosto 2014.

CANALTECH. Canaltech. **Canaltech**, 2020. Disponível em: <<https://canaltech.com.br/mercado/empresas-de-tecnologias-dominam-ranking-de-marcas-mais-valiosas-do-mundo-173298/>>. Acesso em: 5 dezembro 2020.

CAROLIS. **DREAMY - Digital REadiness Assessment Maturity Model**. [S.l.]: [s.n.], 2017.

CAROLIS, A. **Guiding manufacturing companies towards digitalization a methodology for supporting manufacturing companies in 134 defining their digitalization roadmap**. [S.l.]: Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC), 2017 International Conference on. IEEE, p. 487-495, 2017.

DURAKBASA, N. M. E. A. **Intelligent integrated management and advanced metrology for quality toward the factory of the future**. [S.l.]: Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2018.

FIRJAN SENAI, F. **Industria 4.0 no Brasil: oportunidades, perspectivas e desafios**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2019.

FREUND, G. P. **Requisitos de Segurança para Provedores de Serviços em Nuvem de Acordo com a Norma ISO 27017**. [S.l.]: [s.n.], 2017.

FREUND, G. P. E. A. **Requisitos de Segurança para Provedores de Serviços em Nuvem de Acordo com a Norma ISO 27017**. [S.l.]: [s.n.], 2017.

GÖKALP, E. E. A. **Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM**. In: International Conference on Software Process Improvement and Capability Determination. [S.l.]: Springer, Cham, p. 128-142, 2017.

GALASKE, N. E. A. **Workforce management 4.0 - Assessment of human factors readiness towards digital manufacturing**. [S.l.]: Advances in Intelligent Systems and Computing, 2018.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. **Design principles for industrie 4.0 scenarios**. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2016.

HOFMANN, E.; RUSCH, M. **Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics**. [S.l.]: Computers in Industry, v. 89, p. 23-34, 2017.

IEDI. **Indústria 4.0: A Política Industrial da Alemanha para o futuro**. [S.l.]: Disponível em: https://iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_807.html. Acesso em 21 mar. 2020, 2017.

IEDI. **Indústria 4.0: A iniciativa Made in China 2025**. [S.l.]: Disponível em: https://iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_827.html. Acesso em: 24 Abr. 2020, 2018.

JIRKOVSKY, V.; OBITKO, M.; MARIK, V. **Understanding Data Heterogeneity in the Context of Cyber-Physical Systems Integration**. [S.l.]: IEEE Transactions on Industrial Informatics, v. 13, n. 2, p. 660-667., 2017.

KAGERMANN, H. et al. **Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0**. [S.l.]: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0, 2013.

KANG, H. S. E. A. **Smart Manufacturing: Past Research, Present Findings, and Future Directions**. [S.l.]: International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, v. 3, n. 1, p. 111-128, 2016.

LIAO, Y. X. **Past, present and future of Industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal**. [S.l.]: International Journal of Production Research, v. 55, n. 12, p. 3609-3629., 2017.

LIMA, E. D. **Explorando padrões e normas associados ao RAMI 4.0: Um estudo descritivo**. [S.l.]: Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, 2018.

LU, Y. **Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues.** [S.l.]: Journal of Industrial Information Integration, v. 6, p. 1-10., 2017.

MARTINEZ, F.; JIRSAK, P.; LORENC, M. **Industry 4.0. The end Lean Management?** Praga : INTERNATIONAL DAYS OF STATISTICS AND ECONOMICS, 10, 2016.

MEISSNER, H.; ILSSEN, R.; AURICH, J. **Análise de controle arquiteturas no contexto da indústria 4.0.** 10º CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering. Kaiserslautern: ELSEVIER. 2017. p. 165-169.

MONTGOMERY, D.; BORROR, C. **Systems for modern quality and business improvement.** Quality Technology & Quantitative Management. Phoenix: Taylor & Francis. 2017. p. 343-352.

NAKAJIMA, S. **Manutenção Produtiva Total.** [S.l.]: [s.n.], 1989.

NIELSEN. **COVID-19: O CATALISADOR INESPERADO PARA A ADOÇÃO DA TECNOLOGIA.** [S.l.]: <https://www.nielsen.com/br/pt/insights/article/2020/covid-19-o-catalisador-inesperado-para-a-adocao-da-tecnologia/>. Acessado em 10 Mai 2020., 2020.

OZKAYNAK, F.; MUHAMAD, M. I. **Fast Software Implementation of DES for Lightweight Platforms.** [S.l.]: IEEE, 2017.

PAPAZOGLU, M.; KRAMER, B. J.; ELGAMMAL, A. **Collaborative on-demand Product-Service Systems customization lifecycle.** [S.l.]: CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology , 2018.

POSADA, J. E. A. **Visual Computing as a Key Enabling Technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet.** [S.l.]: IEEE Computer Graphics and Applications, v. 35, n. 2, p. 26-40, 2015.

PR-EUVENEERS, D.; ILIE-ZUDOR, E. **The intelligent industry of the future: A survey on emerging trends, research challenges and opportunities in Industry 4.0.** [S.l.]: Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments, v. 9, n. 3, p. 287-298., 2017.

PUPO, F.; SIMÃO, E. **Indústria 4.0' terá crédito de R\$ 8,6 bi.** [S.l.]: Disponível em: <https://www.valor.com.br/brasil/5383707/industria-40-tera-credito-de-r-86-bi>. Acesso em: 20 Out. 2019, 2018.

RADZIWON, A. et al. **The Smart Factory: Exploring Adaptive and Flexible Manufacturing Solutions.** Sønderborg: ELSEVIER, v. 24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 2013.

RAJNAI, Z.; KOCSIS, I. **Assessing industry 4.0 readiness of enterprises.** IEEE 16th World Symposium on. IEEE, p. 225-230. 2018. ed. [S.l.]: In: Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI), 2018.

REN, L. **Cloud manufacturing: key characteristics and applications**. [S.l.]: International Journal of Computer Integrated Manufacturing, v. 30, n. 6, p. 501-515, 2017.

ROBLEK, V.; MESKO, M.; KRAPEZ, A. **A Complex View of Industry 4.0**. [S.l.]: Sage Open, v. 6, n. 2., 2016.

ROTTA, F. ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial**, 2017. Disponível em: <<https://www.abdi.com.br/postagem/industria-4-0-pode-economizar-r-73-bilhoes-ao-ano-para-o-brasil>>. Acesso em: 10 abril 2019.

SALTIÉL, R. M. F.; NUNES, F. L. **A indústria 4.0 e o sistema Hyundai de produção: suas interações e diferenças**. [S.l.]: Anais do V Simpósio de Engenharia de Produção - SIMEP, 2017.

SCHUH, G. **Industrie 4.0 Maturity Index**. Munich: Managing the Digital Transformation of Companies (acatech STUDY) Herbert Utz Verlag, 2017.

SCHUMACHER, A.; EROL, S.; SIHN, W. **A maturity model for assessing industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises**. [S.l.]: Procedia CIRP, v. 52, p. 161-166, 2016.

SNASEL, V. **Geometrical and topological approaches to Big Data**. [S.l.]: Future Generation Computer Systems-the International Journal of Escience, v. 67, p. 286- 296., 2017.

SOUSA, R.; NEVES, D. "Revolução Industrial"; Brasil Escola., 2019. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/historiag/revolucao-industrial.htm>>. Acesso em: 19 maio 2019.

THE BOSTON CONSULTING GROUP (BCG). **Industry 4.0: the future of productivity and growth in manufacturing industries**. Alemanha: [s.n.], 2015.

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

VENTURELLI, M. **RAMI 4.0: Modelo de Referência para Arquitetura da Indústria 4.0**. [S.l.]: Disponível em:< <https://www.automacaoindustrial.info/rami-4-0-modelo-de-referencia-para-arquitetura-da-industria-4-0/>> Acesso em: 20 Mai. 2020., 2020.

WAN, J. **Context-Aware Cloud Robotics for Material Handling in Cognitive Industrial Internet of Things**. [S.l.]: IEEE Internet of Things Journal., 2017.

WANG, S. Y. E. A. **Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination**. [S.l.]: Computer Networks, v. 101, p. 158-168, 2017.

WEBER, C. E. A. **M2DDM-A Maturity Model for Data-Driven Manufacturing**. [S.l.]: In:

TSENG, M. M.; TSAI, H. Y.; WANG, Y. (Eds.), v. Manufacturing Systems 4.0., 2017.

WEYER, S. et al. **Future Modeling and Simulation of CPS-based Factories: an Example from the Automotive Industry**. German Research Centre for Artificial Intelligence. Kaiserslautern: ELSEVIER. 2016. p. 97-102.

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

XU, P. **ViDX: Visual Diagnostics of Assembly Line Performance in Smart Factories**. [S.l.]: IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, v. 23, n. 1, p. 291-300., 2017.