

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PROPOSTA DE UM *ROADMAP* PARA A DIGITALIZAÇÃO DE UMA
LINHA DE MONTAGEM**

Eng. Leticia Franceschini Rodrigues

Santa Bárbara d'Oeste
2018

PROPOSTA DE UM *ROADMAP* PARA A DIGITALIZAÇÃO DE UMA LINHA
DE MONTAGEM

Eng. Leticia Franceschini Rodrigues

ORIENTADOR: PROF. DR.-ING. KLAUS SCHÜTZER

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Santa Bárbara d'Oeste
2018

Agradecimentos

Agradeço a Deus por guiar meus passos e me conduzir para o caminho do bem.

Agradeço aos meus pais, Arlete Maria Franceschini Rodrigues e Onivaldo Rodrigues por serem o alicerce da minha vida e por me mostrarem desde cedo que o único caminho para a evolução e mudança é a educação. Aos meus irmãos, Lucas Franceschini Schutzer Rodrigues e Livia Franceschini Rodrigues Zanellati por serem meus exemplos de dedicação e esforço para conquistar um objetivo.

Aos meus cunhados, Marcelo Zanellati e Paula Zanotto pelo incentivo, apoio, torcida e vibração a cada conquista.

Aos meus familiares pelas orações e por se fazerem presentes em todos os momentos da minha vida.

Ao Prof. Dr.-Ing. Klaus Schützer pela oportunidade de realizar o mestrado e a toda a equipe do Laboratório de Sistemas Computacionais para Projeto e Manufatura pelo companheirismo, em especial a Marcela Santana Romão.

Aos meus amigos de infância e da graduação que sempre torcem pelo meu sucesso, apoiam minhas decisões e permanecem ao meu lado independentemente da distância física que possa existir.

A empresa que abriu suas portas para a realização desta dissertação pela parceria e auxílio, em especial ao Wagner Endo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES – Brasil.

Sumário

Sumário	I
Índice de Figuras	V
Índice de Tabelas	VI
Resumo	VII
<i>Abstract</i>	VIII
1 Introdução.....	1
1.1 Motivação.....	4
1.2 Contribuição da dissertação.....	5
1.3 Estrutura do trabalho.....	6
2 Revisão bibliográfica	7
2.1 Histórico das revoluções industriais	7
2.2 <i>Industrie 4.0</i>	8
2.2.1 Sistemas físico-cibernéticos	11
2.2.2 Internet das coisas	13
2.2.3 Internet de serviços	15
2.2.4 Fábrica inteligente	15
2.3 Produtos inteligentes.....	18
2.4 Implementação da <i>Industrie 4.0</i>	19
2.4.1 Princípios de configuração para cenários da <i>Industrie 4.0</i>	20
2.4.2 <i>Toolbox Industrie 4.0</i>	22
2.4.3 Arquitetura de CPS para fabricação.....	26

2.4.4	Cenários de aplicação da <i>Industrie 4.0</i>	28
2.5	Benefícios esperados do programa <i>Industrie 4.0</i>	31
3	Justificativa, Objetivos e Método de trabalho	35
3.1	Objetivo geral	36
3.2	Objetivos específicos	36
3.3	Método de trabalho	37
3.3.1	Revisão da literatura.....	40
3.3.2	Seleção da empresa.....	41
3.3.3	Identificar melhoria	41
3.3.4	Planejamento da melhoria identificada.....	42
3.3.5	Proposta de <i>roadmap</i>	43
3.3.6	Ação para implementar a melhoria identificada	43
3.3.7	Monitoramento e descrição dos efeitos da ação	43
3.3.8	Avaliação dos resultados da ação.....	44
3.3.9	Validação da proposta final	44
4	Proposta de um <i>roadmap</i> para a digitalização de uma linha de montagem	45
4.1	Etapa 1 - Início	47
4.1.1	Fase de identificação.....	48
4.1.2	Fase da formação do time de projeto.....	49
4.1.3	Fase de análise da situação atual	50
4.2	Etapa 2 – Desenvolvimento	51
4.2.1	Fase da classificação do estágio tecnológico	51

4.2.2	Fase da proposta de melhoria.....	52
4.2.3	Fase de avaliação	53
4.2.4	Fase de criação de indicadores.....	53
4.3	Etapa 3 – Aplicação / Resultados	54
4.3.1	Fase de análise da situação esperada	54
4.3.2	Fase da Implantação	55
4.3.3	Fase dos resultados e análise.....	55
5	Implantação e verificação do <i>roadmap</i>	56
5.1	Etapa 1 - Início.....	56
5.1.1	Fase de identificação.....	56
5.1.2	Fase da formação do time de projeto	57
5.1.3	Fase de análise da situação atual	58
5.2	Etapa 2 - Desenvolvimento	61
5.2.1	Fase da classificação do estágio tecnológico	62
5.2.2	Fase da proposta de melhoria.....	63
5.2.3	Fase de avaliação	64
5.2.4	Fase de criação de indicadores.....	65
5.3	Etapa 3 – Aplicação / Resultados	66
5.3.1	Fase de análise da situação esperada.....	66
5.3.2	Fase da Implantação	68
5.3.3	Fase dos resultados e análise.....	69
6	Considerações finais	70

6.1	Trabalhos futuros	72
7	Bibliografia.....	73

Índice de Figuras

Figura 1: Estágios das revoluções industriais, adaptado de [8].	8
Figura 2: Estrutura de uma fábrica inteligente, adaptado de [9].	17
Figura 3: Arquitetura proposta para produtos inteligentes, adaptado de [50].	19
Figura 4: Toolbox Industrie 4.0 – produto, traduzido de [14].	24
Figura 5: Toolbox Industrie 4.0 – produção, traduzido de [14]	25
Figura 6: Arquitetura CPS de 5 níveis, adaptado de [15].	27
Figura 7: Roteiro de projeto, traduzido de [13].	30
Figura 8: Benefícios quantitativos da Industrie 4.0, adaptado de [55].	33
Figura 9: Benefícios qualitativos da Industrie 4.0, adaptado de [55].	33
Figura 10: Ciclo da pesquisa-ação, adaptado de [57]	39
Figura 11: Etapas do trabalho	40
Figura 12 - Roadmap para a digitalização de uma linha de montagem	46
Figura 13 - Etapas do roadmap	47
Figura 14: Etapa 1 do roadmap para a digitalização de uma linha de montagem	48
Figura 15: Etapa 2 do roadmap para a digitalização de uma linha de montagem	51
Figura 16: Etapa 3 do roadmap para a digitalização de uma linha de montagem	54
Figura 17: Layout da linha de montagem	60
Figura 18: Classificação do estágio tecnológico atual da linha de montagem	62
Figura 19: Matriz impacto X esforço	65
Figura 20: Definição do estágio tecnológico futuro almejado pela empresa	67

Índice de Tabelas

Tabela 1: Capacidade dos produtos inteligentes, adaptado de [49]..... 18

Tabela 2: Princípios de design para cenários de Industrie 4.0, adaptado de [13]. 20

Tabela 3: Classificações da pesquisa-ação e suas características, adaptado de [61]. 38

Resumo

A *Industrie 4.0* é um termo alemão que hoje é considerado como uma das principais prioridades para o desenvolvimento industrial, uma vez que tem por objetivo interconectar todas as áreas que compõe um processo produtivo por meio de redes inteligentes. Com base na revisão da literatura e de estudos sobre casos aplicados, verificou-se que não existe um modelo/roteiro básico capaz de atender às diferentes exigências propostas pelas organizações para que novas tecnologias sejam implantadas. Portanto, com a intenção de criar uma abertura para a implementação de projetos relacionados a *Industrie 4.0*, esta dissertação apresenta o desenvolvimento de uma proposta de *roadmap* que serve como uma ferramenta prática para apoiar a implementação de novas tecnologias. No caso deste objeto de estudo, o *roadmap* foi aplicado com o objetivo de realizar a digitalização dos dados de uma linha de montagem. Os resultados deste trabalho podem ser úteis para criar um entendimento sobre o que é a *Industrie 4.0*. Além disso, o *roadmap* proposto pode ser utilizado ou adaptado para outros casos de uso.

Palavras-chave: *Industrie 4.0*; 4ª Revolução Industrial; Digitalização; Sistemas Físico-Cibernéticos.

Abstract

Industrie 4.0 is a German term that today is considered one of the top priorities for industrial development, since it aims to interconnect all the areas that make up a production process through smart grids. Based on the literature review and applied case studies, it was verified that there is no basic model / roadmap that can meet the different requirements proposed by organizations for new technologies to be implemented. Therefore, with the intention of creating an opening for the implementation of projects related to Industrie 4.0, this dissertation presents the development of a roadmap proposal that serves as a practical tool to support the implementation of new technologies. In the case of this study object, the roadmap was applied in order to perform the scanning of the data of an assembly line. The results of this work may be helpful in creating an understanding of what Industrie 4.0 is. In addition, the proposed roadmap can be used or adapted for other use cases.

Keywords: Industrie 4.0; 4th Industrial Revolution; Digitalization; Cyber-Physical Systems.

1 Introdução

Devido ao ambiente competitivo e as exigências do mercado, a indústria de transformação enfrenta desafios em relação a maneira como produz seus bens e serviços, como os utiliza e como os distribui. Esse contexto também inclui pressões sobre os custos de produção, produção enxuta, redução do tempo de comercialização e demanda por produtos individualizados. O mercado global e as forças globais estão gerando mudanças em todos os segmentos da indústria de manufatura mundial. A inovação e o atendimento à demanda dos consumidores serão fundamentais para criar valor econômico [1].

Para atender a esses desafios, as empresas do futuro precisarão de capacidades para gerenciar toda a sua cadeia de valor de forma ágil e responsiva. As empresas precisarão de estruturas físicas e virtuais que permitam uma estreita cooperação e uma rápida adaptação ao longo de todo o ciclo de vida, desde a inovação até a produção e distribuição [2].

Diante desse contexto, é preciso inovar e buscar novas tecnologias capazes de tornar os custos de produção mais baixos e que tragam um produto com alto valor agregado para que a indústria permaneça competitiva. A introdução de novas tecnologias viabiliza possibilidades tecnológicas antes não conhecidas. Isso pode ser comprovado quando se faz uma releitura histórica dos avanços da indústria nas últimas décadas. As indústrias que buscam se adaptar as novas tecnologias alcançam ganhos de produtividade. Dessa forma, repensar sua estratégia para que formas de produção inovadoras sejam incorporadas torna-se uma consideração importante.

A *Indústria 4.0* mantém a promessa de maior flexibilidade na fabricação, juntamente com a customização em massa, maior qualidade e melhor produtividade. Isso permite que as empresas lidem com os desafios de produção de produtos cada vez mais individualizados em um curto período de tempo atendendo aos requisitos de qualidade. Na *Indústria 4.0* os recursos típicos de produção são convertidos em objetos inteligentes para que possam sentir, agir e se controlar dentro de um ambiente

inteligente [3]. Além disso, a *Indústria 4.0* visa melhorar as cadeias de valor e as redes de valor agregado na indústria para garantir a competitividade industrial [4].

Para a Alemanha, uma modificação bem-sucedida da indústria de transformação é de altíssima importância, uma vez que ela contribui com mais de 25% do PIB e fornece mais de 7 milhões de empregos [5]. Por isso o governo alemão vem investindo no programa *Indústria 4.0*.

Não diferente disto, para o Brasil uma transformação bem estruturada resultaria em ganhos competitivos com o crescimento da economia, geração de novos empregos e desenvolvimento de tecnologias e inovação. Entre os setores da indústria de transformação que mais geram empregos formais, o setor de veículos automotores, carrocerias e autopeças encontrava-se em quinto lugar em 2015 [6].

O conceito de *Indústria 4.0* vem sendo bastante discutido em todo o mundo e promete ser o que os especialistas chamam de 4ª Revolução Industrial. É uma iniciativa estratégica alemã cujo principal objetivo é aumentar o valor agregado dos processos de engenharia de produção e do produto. A abordagem principal é dotar a próxima geração de produtos e recursos de produção com sistemas físico-cibernéticos, tornando-os capazes de se conectarem entre si e com o ambiente de produção. Isso permite que a indústria alcance uma alta flexibilidade, alta adaptabilidade e resiliência [7] por meio da digitalização de seus processos produtivos.

As empresas deverão estabelecer redes globais que incorporam suas máquinas, sistemas de armazenagem e instalações de produção na forma de Sistemas Físico-Cibernéticos (CPS) [8]. Pela conexão de máquinas, sistemas e recursos, as organizações podem criar redes inteligentes ao longo da cadeia de valor controlando os processos de produção de forma autônoma [9]. Dessa forma, melhorias na gestão das empresas serão observadas, uma vez que cada sistema será independente, capaz de identificar suas necessidades e se comunicar com outros sistemas transferindo informações. Isso permitirá rápidas tomadas de decisão e respostas autônomas dos sistemas de produção [8,9].

O programa *Indústria 4.0* também resulta em novas formas de criação de valor e novos modelos de negócios. Em particular, ele irá fornecer as *startups* e pequenas empresas a oportunidade de se desenvolverem e prestarem serviços [8]. Os desafios

decorrentes da 4ª Revolução Industrial trazem novas exigências, mas também oportunidades para o desenvolvimento e introdução de novas soluções.

O tema em questão ainda não é uma realidade para todas as indústrias visto que para a sua plenitude é preciso um alto nível de automação. Pensando no Brasil, isso se torna ainda mais distante, uma vez que existem alguns fatores que impedem o crescimento econômico como, por exemplo, a infraestrutura deficiente, o câmbio excessivamente valorizado, entraves burocráticos e a elevada carga tributária [6]. Portanto, a aplicação da *Indústria 4.0* ocorrerá de formas diferentes de acordo com a realidade de cada indústria.

Para se adequarem à esta realidade, é preciso que as indústrias façam um levantamento do estágio tecnológico atual, bem como um planejamento para adaptar suas máquinas e equipamentos, chão de fábrica, comunicação, pessoas, entre outros, para que possam traçar uma estratégia para se enquadrarem nos requisitos do programa *Indústria 4.0*.

Hoje em dia, o nível mais alto de digitalização na indústria é a *Indústria 4.0* [10], que digitaliza e integra processos verticalmente em toda a organização, desde o desenvolvimento e a compra de produtos, até fabricação, logística e serviços. Todos os dados de processo de operações, eficiência dos processos e gestão da qualidade, bem como o planejamento de operações, são disponibilizados em tempo real, otimizados em uma rede integrada [11].

Uma pesquisa realizada pela empresa de auditoria e consultoria *PricewaterhouseCoopers* (PWC) indica que as empresas brasileiras têm baixo nível de digitalização e integração, mas pretendem aumentar significativamente o seu portfólio de produtos e serviços digitais até 2020 [11].

Foram identificados alguns métodos na literatura para a migração para a *Indústria 4.0* [8,12,13,14,15], porém atualmente não existe um método inicial que seja modelo para todas as organizações para que elas caminhem para a visão do programa *Indústria 4.0* de maneira que possam controlar os impactos durante a sua reestruturação.

Futuramente será inevitável que as empresas se adequem ao programa *Indústria 4.0*. No entanto, se essa adequação não for realizada de forma consistente poderá trazer

consequências negativas para o futuro da organização. Ainda existe uma grande lacuna no que diz respeito à *Indústria 4.0*; embora seja amplamente pesquisada, os resultados comuns nas pesquisas são muito gerais para serem implementados ou contém muitos detalhes por se concentrarem em uma indústria especial, não podendo, assim, ser aplicado em outras [16]. Com isso, a seguinte questão de pesquisa pode ser levantada – Qual seria o método que traz aplicações de *Indústria 4.0* que possa ser implementado em diferentes organizações? Posto isto, o presente trabalho busca desenvolver um *roadmap* para a digitalização de dados de uma linha de montagem e que sirva como base para a implementação de ações relacionadas à *Indústria 4.0* em outras organizações.

O método utilizado para a realização deste trabalho, que será detalhado no capítulo 3, é a pesquisa-ação.

Este trabalho se insere na linha de pesquisa Engenharia do Processo, que busca desenvolver métodos e técnicas inovadoras aplicadas ao processo de montagem com ênfase na manufatura inteligente.

1.1 Motivação

O Brasil vive um processo de desindustrialização. Levando em consideração que grandes potências mundiais já passaram por processos de desindustrialização e ao incorporarem novas tecnologias alcançaram ganhos competitivos significativos, uma transformação bem estruturada da indústria de transformação brasileira pode ser uma alternativa para driblar crises econômicas e sociais. Se novas tecnologias forem incorporadas ao chão de fábrica e aos modos de produção esse cenário pode melhorar significativamente nos próximos anos, trazendo maior participação da indústria de transformação brasileira na economia nacional, além de gerar mais empregos diretos.

O estágio tecnológico das indústrias brasileiras está defasado. Grande parte das empresas ainda não atingiu o ápice tecnológico da 3ª Revolução Industrial. Muitas delas ainda utilizam trabalho manual e se veem preenchendo planilhas e realizando análises sem a ajuda de alguma tecnologia digital. Assim, ainda lidam com dados em

papel, o que dificulta a gestão dos processos e da produção. O maquinário das indústrias brasileiras é antigo e trocá-los para modernizar a manufatura traria grandes dispêndios econômicos. Assim, uma solução economicamente viável que possa auxiliar as empresas na transição para os conceitos da *Indústria 4.0* precisa ser bem planejada.

Existem poucas iniciativas nesse sentido que tragam uma resposta para as indústrias de como utilizar tecnologias de transição para acompanhar esta mudança. Daí surgiu a motivação para a realização desse trabalho.

1.2 Contribuição da dissertação

Ainda existe uma falta de informação para entender as implicações que a *Indústria 4.0* trará nos próximos anos. Esse trabalho de pesquisa fornece um entendimento sobre o que é a *Indústria 4.0* e traz como contribuição um *roadmap* com recomendações que podem auxiliar as empresas a entenderem o conceito e aplicar técnicas para a migração de tecnologia.

Esse trabalho demonstra a criação e implementação de um projeto voltado para a *Indústria 4.0*. Para as organizações, pode servir como um guia para a implementação e como base para a criação / adaptação de outros *roadmaps* ligados ao tema.

Para a academia, o trabalho traz um entendimento sobre a *Indústria 4.0* e estreita o *gap* entre a teoria e a prática, trazendo um caso de uso real para a digitalização dos dados de uma linha de montagem.

O *roadmap* apresentado contempla etapas iniciais para a transição para a *Indústria 4.0* e pode ser replicado em outras linhas de montagem com o objetivo de digitalizá-las. Espera-se que os conceitos discutidos nesta dissertação despertem novas ideias para a adequação de soluções voltadas para a *Indústria 4.0*.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho é composto de 6 capítulos além da introdução. Uma fundamentação teórica baseada nos conceitos de *Indústria 4.0* é apresentada com o objetivo de apresentar todo o material consultado para a elaboração dessa dissertação. O capítulo 1 contextualiza o tema de pesquisa abordado e a motivação para o desenvolvimento do trabalho. O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica sobre os tópicos mais importantes relacionados à *Indústria 4.0*. No capítulo 3 é apresentado o desenvolvimento da pesquisa, apontando os objetivos geral e específico, bem como a justificativa e o método de trabalho. O capítulo 4 apresenta a proposta do *roadmap* desenvolvido para a digitalização de uma linha de montagem. O capítulo 5 descreve a pesquisa-ação com a aplicação do *roadmap* com o propósito de validá-lo. O capítulo 6 traz as conclusões do estudo. Por fim, o capítulo 7 apresenta as referências utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho.

2 Revisão bibliográfica

Para proporcionar uma melhor compreensão do tema e auxiliar na construção de uma análise do problema será apresentado este capítulo que aborda os conceitos e a literatura inerentes ao tema *Indústria 4.0*.

2.1 Histórico das revoluções industriais

Com o desenvolvimento e domínio de novas tecnologias de produção, foi possível conquistar as revoluções industriais. No século XVIII ocorreu a 1ª Revolução Industrial após a invenção da máquina a vapor. Posteriormente, a 2ª Revolução Industrial veio com a introdução da linha de montagem por Henry Ford, em meados do século XIX e início do século XX. A 3ª Revolução Industrial se deu após a segunda guerra mundial com a introdução de computadores no chão de fábrica. Este foi um marco para a automação de processos de fabricação e máquinas programadas para assumir as responsabilidades de produção [17].

Para competir com outros países como China e Índia e oferecer mais valor aos clientes, os países desenvolvidos começaram a aplicar tecnologias avançadas em nível de produção. Na Alemanha e em outros países como EUA e Japão tais iniciativas são denominadas como 4ª Revolução Industrial, Internet das Coisas ou Sistemas da Próxima Geração [17].

Portanto, hoje o desafio que se apresenta pode ser chamado de 4ª Revolução Industrial com a introdução do programa *Indústria 4.0*, em que máquinas inteligentes comunicam-se entre si sem intervenção humana. A Figura 1 ilustra essa evolução [8].

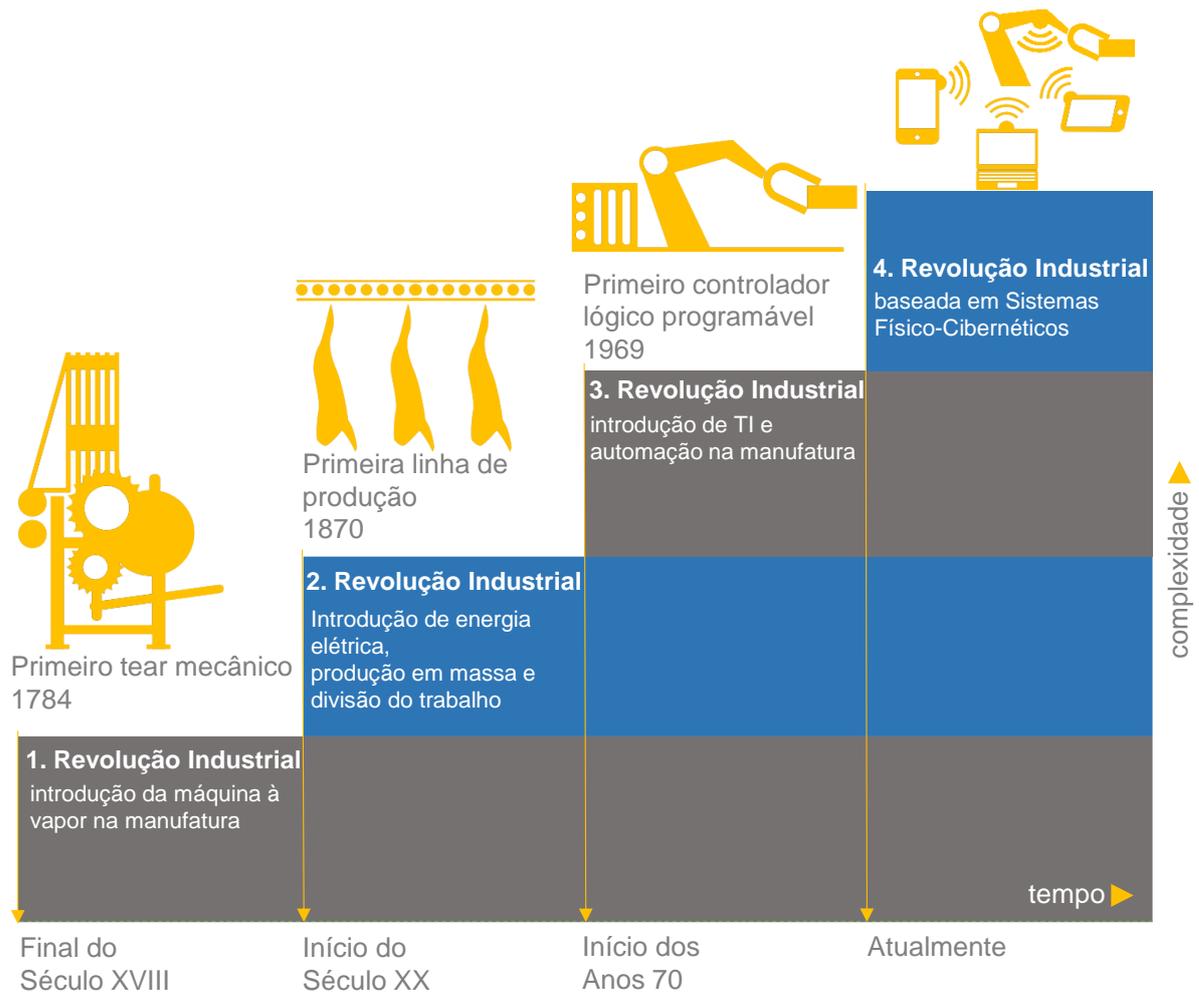


Figura 1: Estágios das revoluções industriais, adaptado de [8].

2.2 Indústria 4.0

A iniciativa *Indústria 4.0* surgiu na Alemanha em resposta à competitividade global, visando a liderança da inovação tecnológica na indústria. O governo federal alemão apoiou a ideia, anunciando o programa *Indústria 4.0* como parte integrante da sua estratégia de alta tecnologia para a Alemanha 2020. Desta forma, torna-se evidente o interesse das empresas pela adequação às novas tecnologias propostas e o grande investimento que será revertido após a plenitude do programa [12].

Embora seja um termo recorrente para empresas e centros de pesquisa, falta uma definição geral sobre o termo *Indústria 4.0*. Mesmo os principais promotores da ideia descrevem apenas alguns aspectos como suas percepções, as tecnologias de base que a ideia visa e alguns cenários selecionados, mas não fornecem uma definição

clara sobre o tema [13]. Então este tópico apresentará os principais conceitos relacionados ao assunto que foram publicados por especialistas e que se tornaram base para o desenvolvimento deste trabalho.

O termo *Indústria 4.0* é usado para representar a próxima revolução industrial [12,13]. É um termo coletivo para tecnologias e novos conceitos de organização da cadeia de valor [8,12] que compreende uma mudança de paradigma da fabricação automatizada para um conceito de fabricação inteligente totalmente interconectado [18], em que máquinas e produtos interagem uns com os outros sem controle humano [19]. Na *Indústria 4.0* as máquinas, meios de produção e produtos são organizados em sistemas físico-cibernéticos que trocam informações de forma autônoma, podem desencadear ações e além disso se controlam de forma independente. As fábricas estão se desenvolvendo em ambientes inteligentes que estão rompendo a fronteira entre o mundo real e virtual [20].

A implementação da fabricação inteligente se baseia em tecnologias chave como a Internet das Coisas (*Internet of Things* – IoT) para facilitar essa mudança [18]. Dentro da estrutura de fábricas inteligentes da *Indústria 4.0*, CPS monitoram os processos físicos, criam uma cópia virtual do mundo físico/real e tomam decisões descentralizadas. Através da IoT, os CPSs se comunicam e cooperam entre si e com seres humanos em tempo real [12].

Muitas tecnologias já estão disponíveis para as abordagens da *Indústria 4.0*, mas os benefícios só se desenvolverão com uma colaboração entre as tecnologias chave. Trata-se de combinar tecnologias de informação com engenharia de produção e criar novos produtos e soluções inovadoras [14]. Esta é uma abordagem estratégica para a integração de sistemas embarcados com tecnologias de informação e comunicação que permitem a interconexão entre pessoas, produtos e sistemas complexos [21].

As tecnologias de informação e comunicação estão se fundindo com as tecnologias de produção para desenvolver uma nova forma de criação de valor. A disponibilidade de informações em tempo real através de uma rede que interconecte todos os parceiros envolvidos no processo resulta em redes dinâmicas, otimização em tempo real e auto-organização [14]. Portanto, ao implementar um cenário da *Indústria 4.0*, o

foco não é sobre as novas tecnologias, mas sobre como combiná-las de forma inteligente [22].

A *Indústria 4.0* será desencadeada pela internet, que permite a comunicação entre os seres humanos e máquinas de sistemas físico-cibernéticos em redes amplas. Isso demonstra a possibilidade de uma produção totalmente automatizada, sem intervenções humanas. Em essência, a *Indústria 4.0* envolverá a integração técnica de CPS na fabricação e logística e no uso da IoT e da IoS (IoS – *Internet of Services*) em processos industriais. Isso terá implicações para criação de valor, modelos de negócios, serviços disponibilizados aos clientes e organização do trabalho [8].

A *Indústria 4.0* possui potencial relacionado aos produtos inteligentes e às fábricas inteligentes. Os produtos inteligentes são portadores de informações, dentre elas não apenas seu próprio processo de fabricação, mas também seu histórico de produção, seu estado atual e seu propósito, e, além disso, eles são capazes de orientar seu processo produtivo, instruindo máquinas a realizarem as tarefas de fabricação necessárias [23]. As fábricas inteligentes permitem que os requisitos individuais dos clientes sejam atendidos, independentemente do tamanho do lote de produção. Além disso, elas proporcionam ganhos de produtividade e aumento de eficiência em toda sua cadeia de valor [8].

No contexto da *Indústria 4.0*, os trabalhadores devem se especializar em tecnologias digitais e possuir um conhecimento básico sobre tecnologia de informação para estarem aptos a trabalharem nas fábricas do futuro/inteligentes. O trabalho manual será substituído por mão-de-obra especializada, criando novas oportunidades para profissionais qualificados e muito bem treinados, em um ambiente repleto de desafios e enorme variedade tecnológica [13].

O impacto econômico dessa revolução industrial deve ser enorme, pois a *Indústria 4.0* promete um aumento substancial da eficiência operacional, bem como o desenvolvimento de novos modelos de negócio, serviços e produtos [8,24,25].

Toda empresa deve criar sua própria visão da *Indústria 4.0* e desenvolver suas próprias ideias para utilizar os novos potenciais [14]. Para que essa abordagem seja possível, torna-se necessária a colaboração entre algumas tecnologias, uma vez que existem tendências para o uso de tecnologias de informação e comunicação para

autonomia no ambiente de fabricação [16]. Foram identificadas na revisão da literatura quatro componentes chave da *Indústria 4.0*, são eles: Sistemas Físico-Cibernéticos, Internet das Coisas, Internet de Serviços e Fábricas Inteligentes [12]. Esses temas serão abordados nos subtópicos 2.2.1 a 2.2.4.

2.2.1 Sistemas físico-cibernéticos

Um elemento importante da *Indústria 4.0* é a fusão dos mundos físico e virtual [24]. Essa fusão é possibilitada pelos Sistemas Físico-Cibernéticos (CPS – *Cyber-Physical Systems*). Esses sistemas promovem a integração entre computação e processos físicos [26]. CPS incorporam elementos de subsistemas e processos de informação. Esses subsistemas e processos estão integrados e as decisões neles são coesas [27,28,29]. São a próxima geração de sistemas de engenharia de computação na qual comunicação e controle de tecnologias estarão fortemente integradas [30].

Os CPSs são sistemas físicos e de engenharia cujas operações são monitoradas, coordenadas, controladas e integradas por um núcleo de computação e comunicação. A internet transformou a forma como os seres humanos interagem e se comunicam uns com os outros, revolucionou como e onde a informação é acessada, e até mudou a forma como as pessoas compram e vendem produtos. Da mesma forma, os CPS transformarão a forma como os seres humanos interagem e controlam o mundo físico que nos rodeia [31].

Uma das características fundamentais do CPS é a existência de uma rede de comunicação que faz o intermédio entre as entidades físicas e de computação. Em breve, as capacidades de computação e comunicação serão incorporadas em todos os tipos de objetos e estruturas no ambiente físico. Aplicações com enormes impactos sociais e benefícios econômicos serão criadas ao aproveitar essas capacidades [30].

O CPS é composto por aglomerados interconectados de elementos de processamento e redes com fio e sem fio de grande escala que conectam uma variedade de sensores e atuadores inteligentes. O acoplamento entre os contextos físicos e cibernéticos é conduzido por novas demandas e aplicações. Soluções inovadoras abordam necessidades de segurança e privacidade. Novas interações entre comunicações,

computação e controle serão entendidas. O CPS também irá interagir com muitos usuários não técnicos. A integração e a influência em todos os limites administrativos serão possíveis [31].

Existem diferenças entre o sistema atual e um CPS. A principal diferença entre um CPS e um sistema de controle regular ou um sistema integrado é o uso das tecnologias de comunicação, que acrescenta configurabilidade e escalabilidade, bem como a complexidade e possível instabilidade. Além disso, o CPS tem significativamente mais inteligência em sensores e atuadores, bem como restrições de desempenho substancialmente menores [32]. Portanto, a nova abordagem se demonstra mais eficiente que a utilizada atualmente.

Inovações ocorrerão devido à utilização da tecnologia, resultando em grandes ganhos sociais e econômicos [31]. Porém, com a utilização da nova tecnologia, desafios são apresentados e um deles está relacionado à segurança dos CPS. Por se tratar de um sistema conectado à internet, existe o risco da rede ser invadida por *hackers*, dessa forma, informações sigilosas relacionadas à empresa podem ser acessadas e até mesmo adulteradas. Existem desafios consideráveis, particularmente porque os componentes físicos de tais sistemas trazem exigências de segurança e confiabilidade qualitativamente diferentes daqueles em computação de propósito geral [26]. Muito esforço tem sido investido na segurança das camadas computacionais e de comunicação, mas os sistemas têm dificuldades adicionais sabendo que eles envolvem também o controle e o próprio sistema físico [30].

No âmbito da produção, o CPS pode auxiliar no planejamento e controle da produção. O objetivo principal do CPS na produção é criar uma grande malha de controle para todos ou mais de um subsistema que permite ao usuário controlar um processo de produção industrial altamente complexo sem a manutenção de cada subsistema [33].

Nos sistemas de produção, o CPS deve ser implementado em diferentes campos de produção, como logística e planejamento e controle da produção. Outro desafio é tornar este sistema de produção em um Sistema de Produção Físico-Cibernético (CPPS – *Cyber-Physical Production Systems*) projetável e controlável para o gerente de produção. Ele deve ser capaz de interagir com o sistema de uma maneira muito

intuitiva. Para alcançar isso, uma interação adequada com os sistemas de tecnologia de informação que são usados deve ser estabelecida [33]

Sistema de Produção Físico-Cibernético é a aplicação de CPS em sistemas de produção que consistem em uma variedade de máquinas, sensores, robôs e outros recursos [34]. O CPPS consiste em elementos autônomos e cooperativos (ex.: máquinas inteligentes) e subsistemas (ex.: fábricas inteligentes) que estão conectados uns aos outros em todos os níveis de produção, desde o processamento até à produção [35].

O objetivo do CPPS é desenvolver uma abordagem para definir, analisar e simular comportamentos de um chão de fábrica [34]. Uma de suas principais características é a capacidade de adaptação [35]. Em geral, um CPPS oferece vantagens em termos de transparência, adaptabilidade, eficiência de recursos e versatilidade em relação aos sistemas de produção tradicionais [36]. No CPPS, o CPS é considerado uma unidade com acesso imediato a informações e parametrização de todos os componentes [34].

O potencial econômico e social desses sistemas é muito maior do que o que tem sido realizado, e grandes investimentos estão sendo feitos em todo o mundo para desenvolver a tecnologia [26].

2.2.2 Internet das coisas

A revolução da internet levou a interligação entre as pessoas a uma escala e ritmo sem precedentes. A 4ª Revolução Industrial é a interligação entre os objetos para criar um ambiente inteligente [37]. O termo Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*) foi utilizado pela primeira vez pelo pesquisador britânico Kevin Ashton em 1999 [38]. Àquela época o pesquisador explicava a ideia de que os computadores poderiam ser ligados entre si em redes e trabalharem de forma independente e inteligente, sem intervenções humanas. Dessa forma, o homem trabalharia apenas acompanhando tudo, o que poderia resultar na otimização de recursos.

No paradigma IoT, os objetos que nos rodeiam estarão, de uma forma ou de outra, na rede. As tecnologias de identificação por rádio frequência (RFID) e de sensores

aumentarão para enfrentar este novo desafio. Isso resulta na geração de enormes quantidades de dados que devem ser armazenados, processados e apresentados de forma transparente, eficiente e de fácil interpretação [37].

IoT pode ser definida como um mundo onde objetos físicos estão perfeitamente integrados na rede de informação, e onde os objetos físicos podem se tornar participantes ativos nos processos de negócio. Os serviços estão disponíveis para interagir com esses "objetos inteligentes" através da internet, consultar e alterar seu estado e qualquer informação que lhes estão associados, levando em conta questões de segurança e privacidade [39].

No âmbito do projeto CASAGRAS IoT é tratada como uma infraestrutura de rede global, que liga objetos físicos e virtuais pela exploração de captura de dados e capacidades de comunicação. Esta infraestrutura inclui os desenvolvimentos da internet e de redes existentes e em desenvolvimento. Ela vai oferecer identificação de objeto específico, sensor e capacidade de conexão como a base para o desenvolvimento de serviços e aplicações cooperativas independentes. Estes irão ser caracterizados por um elevado grau de autonomia de captura de dados, transferência de dados, conectividade de rede e interoperabilidade [40].

Já a *European Technology Platform (ETP) EPoSS* define IoT como a rede formada por coisas/objetos que têm identidades, personalidades virtuais que operam em espaços inteligentes utilizando interfaces inteligentes para se conectar e se comunicar com o usuário, no contexto social e ambiental [41].

Nas indústrias, pela adoção de tecnologias de informação e comunicação, como por exemplo RFID, sensores e QRCode, a IoT permite que as informações de objetos físicos sejam incorporadas ao mundo virtual e, no final, realiza a fusão entre esses dois mundos [42]. A IoT para ambientes inteligentes pode ser definida como a interconexão de dispositivos de detecção e atuação que oferecem a capacidade de compartilhar informações entre plataformas através de uma estrutura unificada, desenvolvendo uma imagem operacional comum para permitir aplicações inovadoras [37].

A conectividade inteligente com as redes existentes e a computação consciente do contexto usando recursos de rede é uma parte integrante da IoT. Com a crescente

presença de Wi-Fi e acesso à internet sem fio, a evolução em relação a redes de informação e comunicação já é evidente. No entanto, para que a visão da IoT seja bem-sucedida, o paradigma da computação precisará ir além dos cenários tradicionais de computação móvel e evoluir para conectar os objetos do dia a dia e incorporar inteligência aos ambientes [37].

2.2.3 Internet de serviços

A Internet das Coisas e Internet de Serviços (IoS – *Internet of Service*) tornam possível a criação de redes que incorporam todo o processo de fabricação que transforma fábricas em um ambiente inteligente [8].

O setor de serviços é um dos mercados de forte crescimento em todo o mundo. A visão da IoS é permitir que os fornecedores ofereçam seus serviços através da internet. A IoS é composta por participantes, uma infraestrutura de serviços, modelos de negócios e os próprios serviços. Os serviços são oferecidos e combinados em serviços de valor agregado por vários fornecedores; eles são comunicados aos usuários, bem como aos consumidores e são acessados por eles através de vários canais. Tais serviços podem oferecer suporte a recursos funcionais e técnicos [43].

É concebível que, no futuro, este conceito será transferido a partir de fábricas individuais a toda a rede de valor. Fábricas podem ir um passo além e oferecer tecnologias de produção especiais em vez de apenas um tipo de produção. Estas tecnologias de produção serão oferecidas através da IoS. Os recursos de produção serão oferecidos através da IoS e podem ser usados tanto para fabricar produtos como compensar uma eventual ociosidade da produção [12].

2.2.4 Fábrica inteligente

Em um futuro breve trabalhadores, máquinas e matérias-primas conseguirão se comunicar em tempo integral através de uma rede de internet. Dessa forma, o processo de produção poderá ser realizado por meios digitais em uma fábrica inteligente e aplicado ao ambiente real, em que os trabalhadores poderão acompanhar

tudo a distância [1,8,9,44,45,46]. O objetivo é criar uma cadeia de produção inteligente que conecte o produto físico com os dados coletados ao longo do ciclo de vida do produto e transformar esses dados em informações [47].

As tecnologias de informação emergentes, como IoT, *Big Data* e computação em nuvem, atreladas com tecnologias de inteligência artificial, ajudam a implementar a fábrica inteligente [44], que constitui uma característica fundamental da *Indústria 4.0* [8]. Ela é definida como uma fábrica que é consciente do contexto, auxilia pessoas e máquinas na execução de suas tarefas [45]. É um sistema flexível que pode auto otimizar o desempenho em uma rede mais ampla, se auto adapta e aprende com novas condições em tempo real ou quase real e executa processos de produção inteiros de forma autônoma [46].

As fábricas inteligentes e as cadeias de suprimentos habilitadas para tecnologias de informação podem responder melhor aos interesses dos consumidores e aos imprevistos estratégicos e podem fortalecer o setor industrial, facilitando a competitividade e as exportações globais, proporcionando empregos sustentáveis, melhorando radicalmente o desempenho e facilitando inovações na fabricação [1].

Na fábrica inteligente, as máquinas inteligentes, linhas de produção e produtos se comunicam uns com os outros para se reconfigurarem para uma produção flexível em que vários tipos de produtos podem ser produzidos. A rede industrial coleta os dados dos objetos inteligentes e os transferem para a nuvem. Isso permite *feedbacks* e análises dos dados para otimizar o desempenho do sistema [44].

As características essenciais da nova paisagem industrial podem ser observadas na Figura 2 [9].

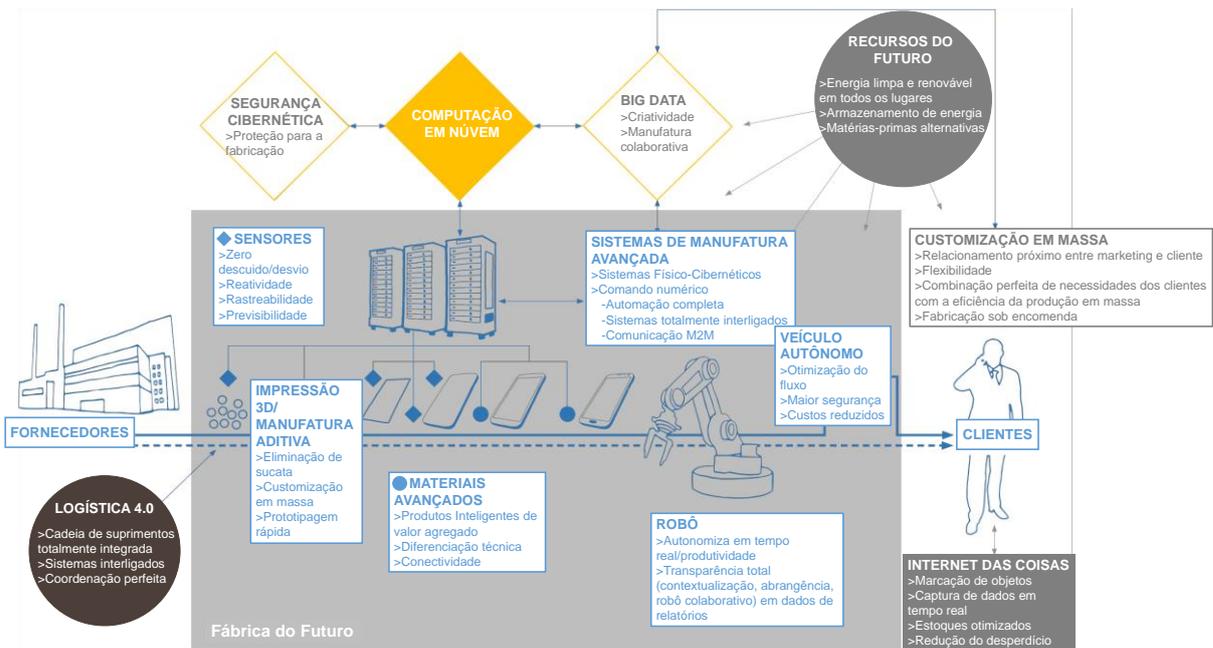


Figura 2: Estrutura de uma fábrica inteligente, adaptado de [9].

Sobre a estrutura da fábrica inteligente apresentada na figura 2, é possível observar que na fábrica do futuro todos os agentes como fábrica, fornecedores e clientes se relacionam através de sistemas interconectados, a partir de uma cadeia de suprimentos integrada [9]. Cada cliente fornece informações únicas para que o produto possa ser adaptado aos seus requisitos, desafiando os pressupostos da produção em massa tradicional [47].

Com o uso de novas tecnologias, será possível concretizar a customização e redução da perda de materiais através da utilização da manufatura aditiva e além disso, a robotização irá possibilitar alta produtividade a custos baixos, uma vez que estará substituindo a força humana. Em uma fábrica inteligente, todos os produtos e equipamentos são providos de sensores capazes de se comunicar e que trazem todas as especificações inerentes ao produto e equipamento. Dessa forma, a produção será toda automatizada, com as máquinas se comunicando entre si [9].

Alguns dos principais recursos da fábricas inteligentes são: conectividade, otimização, transparência, proatividade e agilidade. Cada um desses recursos pode desempenhar um papel decisivo e pode ajudar as organizações a melhorar o processo de produção [46].

2.3 Produtos inteligentes

Mesmo enquanto estão sendo fabricados, os produtos inteligentes, na *Industrie 4.0*, conhecerão os detalhes de seu próprio processo de fabricação. Isso significa que, em certos setores, os produtos inteligentes poderão controlar os estágios de sua produção. Além disso, será possível garantir que os produtos acabados conheçam os parâmetros dentro dos quais eles possam funcionar de forma otimizada e possam reconhecer sinais de desgaste ao longo de seu ciclo de vida [8].

Os produtos inteligentes são objetos do mundo real, dispositivos ou serviços de softwares providos com o conhecimento sobre si mesmos, sobre outros dispositivos e seus componentes [48], conhecendo os detalhes de como foram fabricados e como se destinam a serem usados [8]. Eles apoiam ativamente o processo de fabricação, respondendo a perguntas como "Quando eu fui fabricado?", "Quais parâmetros devem ser usados para que eu seja processado?", "Onde devo ser entregue?", entre outras [8].

Para que um produto se torne inteligente, é preciso que ele seja dotado da capacidade de realizar funções autônomas [49]. Sobre isso, os produtos inteligentes apresentam pelo menos uma das capacidades listadas e explicadas na Tabela 1.

Tabela 1: Capacidade dos produtos inteligentes, adaptado de [49].

Capacidade	Função
Autonomia	Capacidade de operar sem interferência do usuário
Adaptabilidade	Capacidade do produto de integrar sua funcionalidade e o ambiente no qual se insere
Reatividade	Habilidade do produto de reagir às mudanças do ambiente ou contexto
Multifuncionalidade	Permite que um produto execute múltiplas funções
Cooperação	Conecta outros dispositivos para atingir um objetivo comum
Quasi-humana	Permite a comunicação com o usuário de forma intuitiva e natural
Personalidade	Permite a apresentação do produto como um objeto racional

Uma proposta de arquitetura padrão dos produtos inteligentes é apresentada na Figura 3 [50]. Nela, cada produto inteligente pode incluir capacidades de entrada e

saída de dados, atuadores para acionar sua funcionalidade *built-in*, sensores, bem como dados específicos do produto. Para se conectar a recursos no ambiente, um módulo de comunicação é integrado em cada produto inteligente. O módulo de comunicação é baseado no “*middleware MundoCore*”, ferramenta de armazenagem e análise de dados, que permite que os produtos se comuniquem uns com os outros de um modo ponto a ponto.

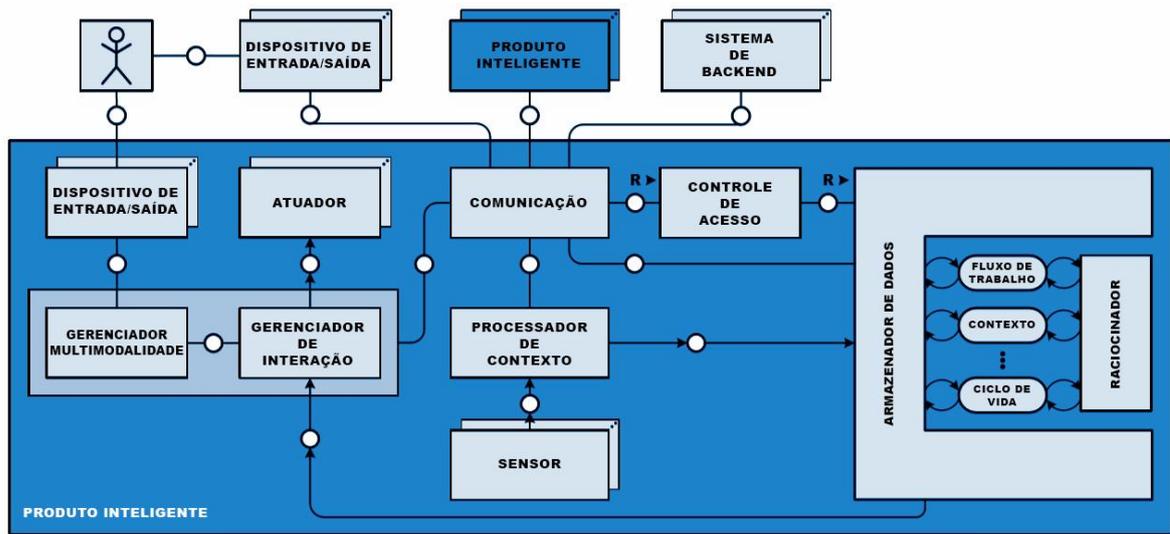


Figura 3: Arquitetura proposta para produtos inteligentes, adaptado de [50].

No futuro robôs irão se tornar inteligentes, o que significa que serão capazes de se adaptar, comunicar e interagir. Isso permitirá saltos de produtividade para as companhias, tendo uma profunda mudança na estrutura de custos, visão e locais de produção. Na *Indústria 4.0*, robôs e seres humanos irão trabalhar lado a lado [9].

2.4 Implementação da *Indústria 4.0*

Como qualquer processo de mudança, a implementação do programa *Indústria 4.0* demanda alto grau de estudo e tempo para ser atingida em sua plenitude. Alguns autores sugerem estratégias que podem levar ao alcance desejado. Os seguintes recursos são necessários para a implementação da *Indústria 4.0* [8]:

- Integração horizontal: integração de sistemas de TI, processos e fluxos de dados entre diferentes empresas, fornecedores e parceiros externos, o que possibilita uma colaboração mais próxima com os parceiros da cadeia de valor;

- Integração digital em toda a cadeia de valor com o objetivo de facilitar a produção personalizada, resultando em redução de custos operacionais internos;
- Integração vertical e sistemas de fabricação em rede: integração de sistemas de TI, processos e fluxos de dados dentro da empresa, desde o desenvolvimento de produtos até a manufatura, logística e vendas para a colaboração multifuncional, resultando em um ambiente de fabricação inteligente.

Algumas estratégias de implementação foram identificadas na literatura e um compilado das informações que serviram como base para o desenvolvimento deste trabalho será apresentado neste tópico.

2.4.1 Princípios de configuração para cenários da *Indústria 4.0*

Do estudo sobre os quatro componentes básicos da *Indústria 4.0* foram derivados seis princípios de configuração para dar suporte às empresas na identificação, descrição e seleção de possíveis projetos pilotos a serem implementados, como mostrado na Tabela 2 [12].

Tabela 2: Princípios de design para cenários de *Indústria 4.0*, adaptado de [13].

	Sistemas Físico Cibernéticos	Internet das Coisas	Internet de Serviços	Fábrica Inteligente
Interoperabilidade	X	X	X	X
Virtualização	X	-	-	X
Descentralização	X	-	-	X
Análise de Dados em Tempo Real	-	-	-	X
Orientação a Serviços	-	-	X	-
Modularização	-	-	X	-

Os princípios de *design* são explicados a seguir usando o exemplo da planta *SmartFactory^{KL}*. A *SmartFactory^{KL}* é uma rede composta por mais de quarenta e cinco membros da indústria e da academia na qual parceiros podem se comunicar e realizar pesquisa e desenvolvimento, testes e implementações em conjunto. Tecnologias

inovadoras de informação e comunicação são testadas e desenvolvidas em ambientes realistas de produção industrial [51].

- Interoperabilidade: é um elemento muito importante da *Indústria 4.0* em que sistemas, pessoas e informações estão conectados de forma transparente nos sistemas físico-cibernéticos através da Internet das Coisas e da Internet de Serviços; uma fusão dos mundos físico e virtual. Isso permite trocas de informações entre máquinas, processos e pessoas. No contexto da *SmartFactory^{KL}*, a interoperabilidade significa que todos os CPSs dentro da planta são capazes de se comunicar através de redes abertas [12,52];
- Virtualização: significa que CPSs são capazes de monitorar processos físicos. Uma cópia virtual do mundo físico é criada através de dados de sensores ligados a modelos de plantas virtuais e modelos de simulação. Isso permite a rastreabilidade remota e o monitoramento de todos os processos através dos sensores espalhados pela fábrica. Na planta da *SmartFactory^{KL}*, o modelo virtual inclui a condição de todos os CPS. Em caso de falha, um ser humano pode ser notificado. Além disso, todas as informações necessárias, como as próximas etapas de trabalho, são fornecidas [12]. A virtualização cria fábricas inteligentes, permitindo a rastreabilidade e o monitoramento de todos os processos através dos vários sensores espalhados por toda a fábrica [52];
- Descentralização: a crescente demanda por produtos individuais torna o controle dos sistemas de forma centralizada cada vez mais difícil. Computadores embarcados permitem que CPSs tomem decisões por conta própria. Apenas em casos de falha tarefas são delegadas a um nível superior. No entanto, para garantir a qualidade e rastreabilidade, é necessário acompanhar todo o sistema a qualquer momento. No contexto da descentralização da planta *SmartFactory^{KL}*, as *tags* RFID (*Radio-Frequency Identification* – Identificação por rádio frequência) identificam as etapas de trabalho necessárias [12]. Os sistemas físico-cibernéticos são distribuídos de acordo com as necessidades da produção, fornecendo recursos de tomada de decisão em tempo real. Além disso, as máquinas não só receberão instruções, mas também poderão fornecer informações sobre seu ciclo de trabalho.

Portanto os módulos de fabricação inteligente funcionarão de forma descentralizada para melhorar os processos de produção [52];

- Análise de dados em tempo real: aquisição e processamento instantâneo de dados, permitindo a tomada de decisões em tempo real [52]. Na *SmartFactory^{KL}*, o *status* da planta é monitorado e analisado permanentemente para que a planta possa reagir à falha de uma máquina e redirecionar os produtos para outra máquina [12];
- Orientação a serviços: uso da arquitetura de software orientadas para serviços, juntamente com o conceito de IoT [52]. Na *SmartFactory^{KL}*, todos os CPS oferecem suas funcionalidades como um serviço web e, como resultado, a operação do processo do produto poder ser composta com base nos requisitos específicos do cliente fornecidos pela *tag* RFID [12];
- Modularização: sistemas modulares são capazes de se adaptar com flexibilidade às mudanças nos requisitos, substituindo ou expandindo módulos individuais. Portanto, os sistemas modulares podem ser facilmente ajustados em caso de flutuações sazonais ou alterações nas características do produto. Na *SmartFactory^{KL}*, novos módulos podem ser adicionados usando o princípio *Plug & Play*. Com base em interfaces de software e hardware padronizadas, os novos módulos são identificados automaticamente e podem ser utilizados imediatamente através da IoS [12]. Então, modularização é a capacidade de realizar processos de produção de acordo com a demanda, oferecendo flexibilidade para mudar as tarefas da máquina facilmente [52].

Os seis princípios de *design* podem ser usados para implementar cenários da *Industrie 4.0* nas empresas. Eles ajudam a identificar possíveis casos de uso e oferecem orientação durante a implementação [12].

2.4.2 Toolbox Industrie 4.0

A *Industrie 4.0* não deve interessar apenas às grandes empresas. Ela também deve ser economicamente viável e benéfica para pequenas e médias empresas. Dessa forma, o guia de orientação da VDMA (Associação Alemã de Fabricação de Máquinas

e Instalações Industriais) é considerado uma ferramenta prática para a identificação e implementação de abordagens específicas para a *Indústria 4.0* [14].

O guia descreve um modelo de procedimento que leva em consideração as visões em torno da *Indústria 4.0* e as reduz a estágios de desenvolvimento viáveis. A aplicação desses estágios de desenvolvimento na própria empresa ajuda a encontrar ideias para novos modelos de negócio, produtos inovadores e melhorias na produção. O guia orienta as empresas a encontrarem sua própria definição de *Indústria 4.0* através da apresentação de ferramentas e procedimentos para o desenvolvimento individual dos próprios pontos fortes e conhecimentos [14]. Os autores do guia testaram o modelo apresentado em quatro empresas com o objetivo de ser validado.

O guia de orientação recomenda a abordagem da prática *Toolbox Indústria 4.0*, ilustrada nas Figura 4 e Figura 5. Essa abordagem visa analisar competências específicas da empresa para derivar casos de uso de implementação e ideias para novos modelos de negócios [53].

A *Toolbox Indústria 4.0* é estruturada em seis camadas de aplicação e cinco classes de desempenho. As camadas de aplicação indicam possíveis áreas de implementação da *Indústria 4.0*, já as classes de desempenho identificam níveis de implementação em potencial.

Caixa de Ferramentas *Industrie 4.0*

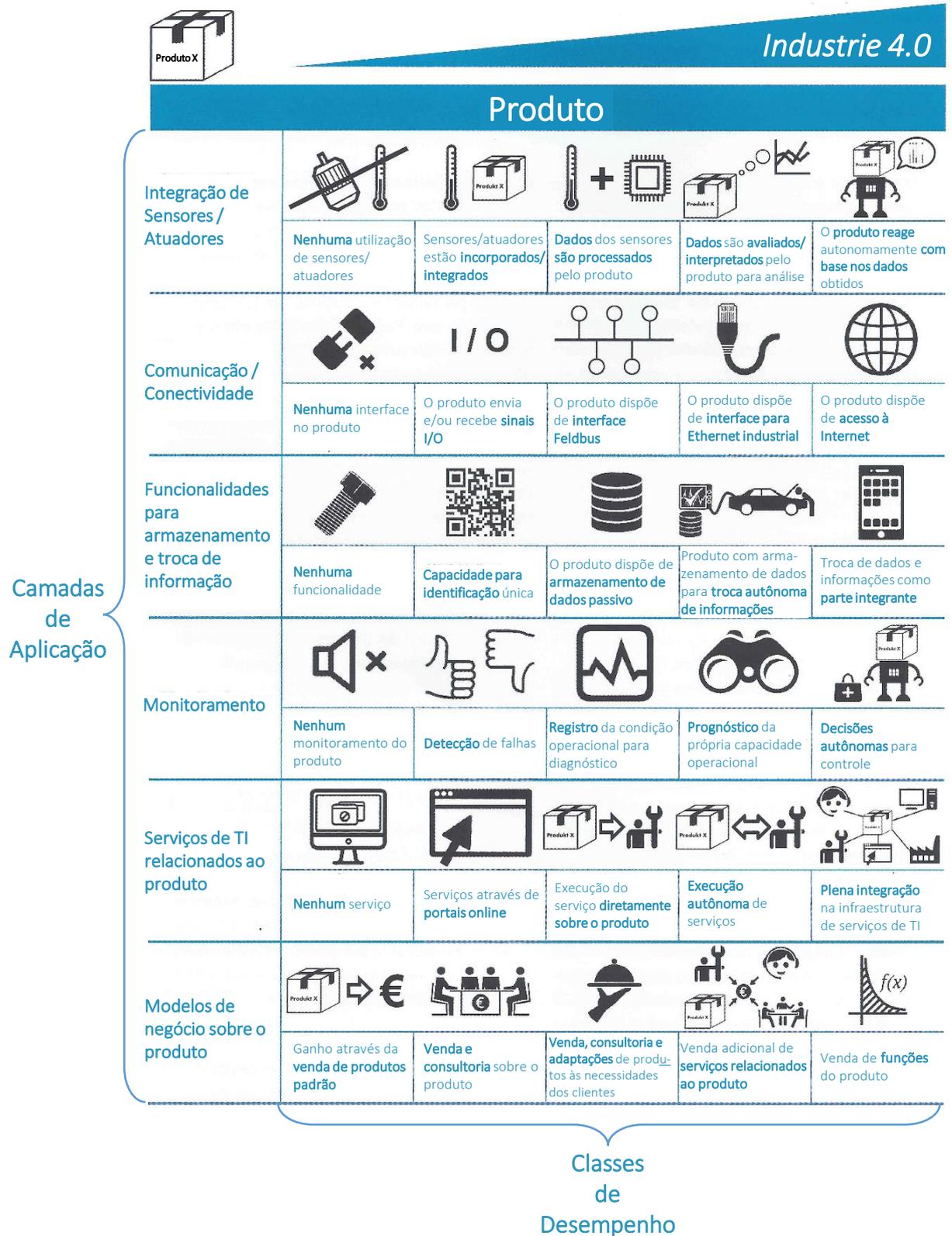


Figura 4: Toolbox Industrie 4.0 – produto, traduzido de [14].

Caixa de Ferramentas *Industrie 4.0*

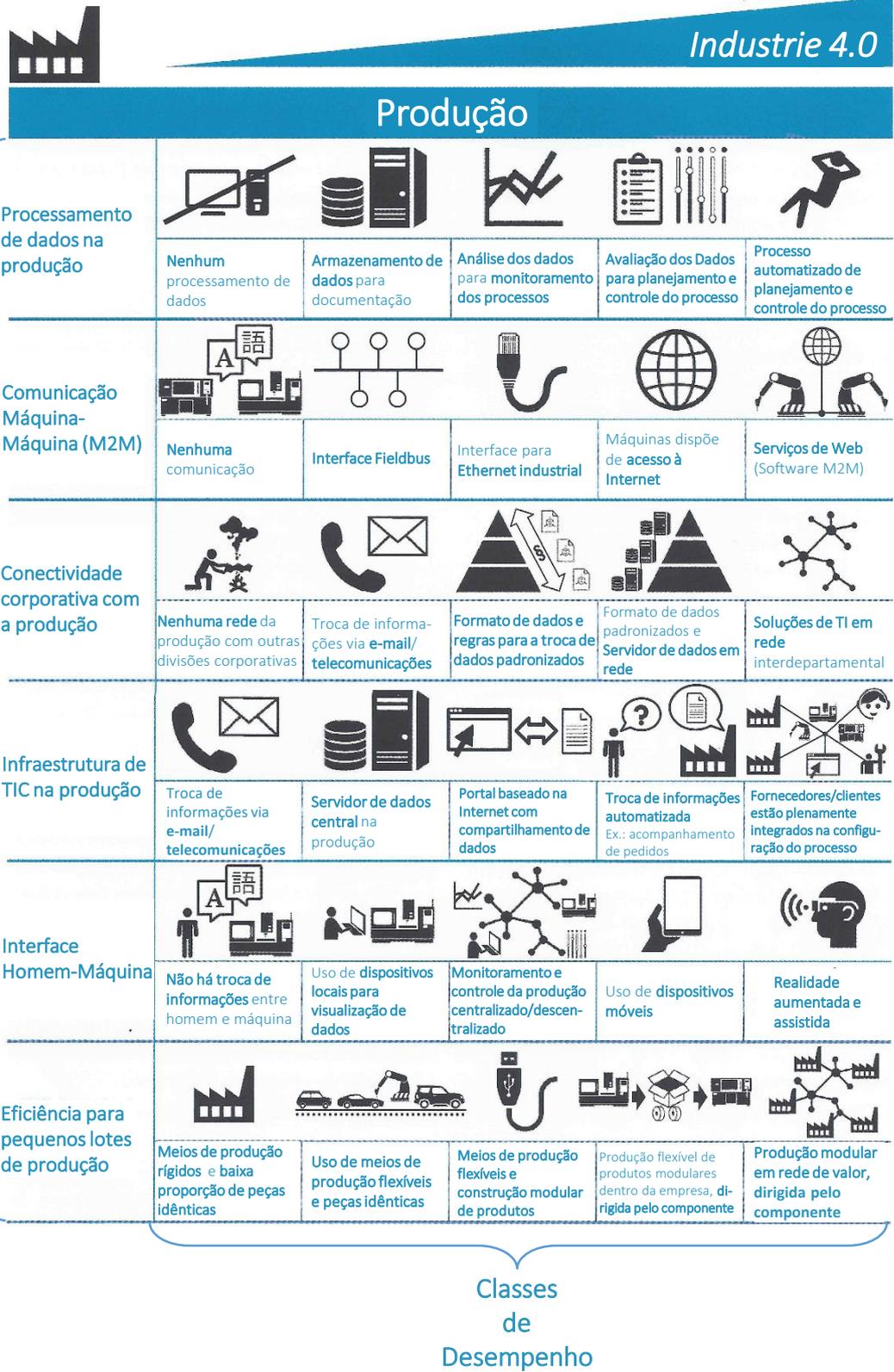


Figura 5: Toolbox Industrie 4.0 – produção, traduzido de [14]

O objetivo dessa estratégia é, através da análise de competências, identificar as capacidades existentes da *Indústria 4.0* na empresa analisada. Primeiro, é realizada uma análise acerca das informações fornecidas pela empresa e levantamento das competências da mesma. Nessa etapa, é possível identificar o estágio tecnológico da empresa, ou seja, em qual classe de desempenho cada uma das camadas de aplicação se encontra.

Após isso, é preciso ajustar as classes de desempenho conforme a *Toolbox Indústria 4.0*, quanto maior a classe de desempenho, mais próximo da visão *Indústria 4.0* se está. Nessa etapa será possível visualizar em qual classe de desempenho cada camada de aplicação está, e em qual classe de desempenho se espera chegar.

Por fim, é preciso definir objetivos estratégicos particulares da empresa com base na *Toolbox Indústria 4.0*. Nessa etapa pode ser realizado um *brainstorming* para identificar objetivos e traçar estratégias para atingi-los. Feito isto, a empresa estará mais próxima da visão da *Indústria 4.0*, podendo implementá-la com maior precisão.

2.4.3 Arquitetura de CPS para fabricação

As metodologias surgidas para sistemas interconectados estão focadas em sincronizar e acompanhar informações do espaço físico com o espaço cibernético. Dependendo do espaço físico que está sendo monitorado, a abordagem para implementar uma metodologia pode ser diferente. A arquitetura CPS de 5 níveis mostrada na Figura 6, denominada 5C, consiste em metodologias e diretrizes para o passo a passo da implantação de CPS para a fabricação desde o estágio de aquisição de dados até a análise final e criação de valor [15].



Figura 6: Arquitetura CPS de 5 níveis, adaptado de [15].

- **Conexão inteligente:** a aquisição de dados precisos e confiáveis das máquinas e seus componentes é o primeiro passo no desenvolvimento de uma aplicação do CPS. Os dados podem ser medidos diretamente por sensores ou serem obtidos de sistemas de controle ou de fabricação das empresas, como ERP (*Enterprise Resource Planning*), MES (*Manufacturing Execution Systems*), SCM (*Supply Chain Management*) e CMM (*Capability Maturity Model*). Dois fatores importantes devem ser considerados nesse nível. Primeiro, considerando vários tipos de dados, é necessário um método integrado e sem suporte para gerenciar o procedimento de aquisição de dados e transferir dados para o servidor central onde protocolos específicos são definidos. Por outro lado, a seleção de sensores adequados (tipo e especificação) é a segunda consideração importante para o primeiro nível [15].
- **Conversão de dados em informações:** informações devem ser inferidas a partir de dados. Atualmente, existem várias ferramentas e metodologias disponíveis para o nível de conversão de dados para informações. Foi desenvolvido um foco abrangente para desenvolver esses algoritmos especificamente para prognósticos e aplicações de gerenciamento de tempo útil das máquinas. Ao

calcular o valor do tempo útil, a vida útil restante é estimada e o segundo nível de arquitetura CPS traz autoconsciência às máquinas [15].

- Cibernético: o nível cibernético atua como central de informações nesta arquitetura. A informação é fornecida a partir de cada máquina conectada à rede. Com informações reunidas, as análises específicas devem ser usadas para extrair informações adicionais que proporcionem uma melhor visão sobre o *status* das máquinas individualmente. Essas análises fornecem máquinas com capacidade de auto comparação, onde o desempenho de uma única máquina pode ser comparado e classificado entre as demais. Por outro lado, as semelhanças entre o desempenho da máquina e as informações retiradas do histórico podem ser medidas para prever o comportamento futuro do maquinário [15].
- Cognição: a implementação do CPS nesse nível gera um conhecimento do sistema monitorado. Uma vez que as informações comparativas, bem como o estado da máquina individual, estão disponíveis, a decisão sobre a prioridade das tarefas para otimizar o processo de manutenção pode ser feita. Para este nível, infográficos adequados são necessários para transferir completamente os conhecimentos adquiridos para os usuários [15].
- Configuração: o nível de configuração é o *feedback* do espaço cibernético ao espaço físico e atua como controle de supervisão para tornar as máquinas autoconfiguradas e auto adaptativas. Esta fase atua como sistema de controle de revisão (RCS) para aplicar as decisões corretivas e preventivas, que foram feitas no nível de cognição, ao sistema monitorado [15].

2.4.4 Cenários de aplicação da *Indústria 4.0*

Pelo fato de a *Indústria 4.0* ainda ser um tema recente, é difícil discuti-lo em um nível acadêmico e também implementar cenários da *Indústria 4.0*. Com base em uma análise de texto quantitativa e uma revisão qualitativa da literatura, foram identificados os princípios de aplicação para cenários da *Indústria 4.0*. Esses princípios auxiliam os acadêmicos a investigarem ainda mais sobre o assunto, enquanto ajudam os

profissionais a identificarem cenários de aplicação adequados para implementar as soluções *Industrie 4.0*. Esses princípios de aplicação para cenários da *Industrie 4.0* foram identificados a partir de quatro etapas: identificação da literatura relevante, uma análise quantitativa dos textos, uma revisão qualitativa da literatura e, por fim, um *workshop*. A análise quantitativa do texto e a revisão qualitativa da literatura identificaram quatro princípios de aplicação que orientam os profissionais da indústria e acadêmicos sobre “como fazer” *Industrie 4.0* [13]. Esses princípios são:

- **Interconexão:** máquinas, dispositivos, sensores e pessoas estão conectados à internet das coisas e internet das pessoas (IoP – *Internet of People*) e formam a internet de tudo (IoE – *Internet of Everything*). Através da IoE, os objetos e as pessoas são capazes de compartilhar informações, e isso constitui a base de uma colaboração conjunta para alcançar metas comuns. Para conectar máquinas, dispositivos, sensores e pessoas entre si, padrões de comunicação comuns são de grande importância. Esses padrões permitem a combinação de máquinas de diferentes fornecedores, o que permite que as fábricas inteligentes da *Industrie 4.0* se adaptem de forma flexível às demandas flutuantes do mercado ou às encomendas personalizadas [13].
- **Transparência de informações:** a fusão do mundo físico e virtual permite uma nova forma de transparência da informação. Os sistemas cumprem suas tarefas com base em informações provenientes do mundo virtual e físico. Para analisar o mundo físico, os dados do sensor devem ser agregados a informações de contexto de maior valor e interpretadas. Para criar transparência, os resultados da análise de dados precisam ser incorporados em sistemas de assistência acessíveis a todos os participantes da IoE [13].
- **Decisões descentralizadas:** as decisões descentralizadas são baseadas na interconexão de objetos e pessoas, além da transparência de informações de dentro e fora de uma instalação de produção. A combinação de decisões interconectadas e descentralizadas permite utilizar informações locais com informações globais ao mesmo tempo para uma melhor tomada de decisões e aumentar a produtividade geral [13].

- Assistência técnica: na fábrica inteligente da *Industrie 4.0*, o papel principal dos seres humanos muda de um operador de máquinas para um tomador de decisões estratégicas e um solucionador de problemas. Devido à crescente complexidade da produção, onde o CPS forma redes complexas e toma decisões descentralizadas, os seres humanos precisam ser apoiados por sistemas de assistência. Esses sistemas precisam agregar e visualizar informações de forma compreensível para garantir que os seres humanos possam tomar decisões e resolver problemas o mais rápido possível. Com os avanços da robótica, o suporte realizado pelos robôs é considerado outro aspecto da assistência técnica, já que robôs são capazes de realizar uma série de tarefas desagradáveis, cansativas ou inseguras para os seres humanos [13].

Para a utilização desses quatro princípios de implementação identificados, o roteiro do projeto foi estruturado em cinco etapas, conforme ilustra a Figura 7.

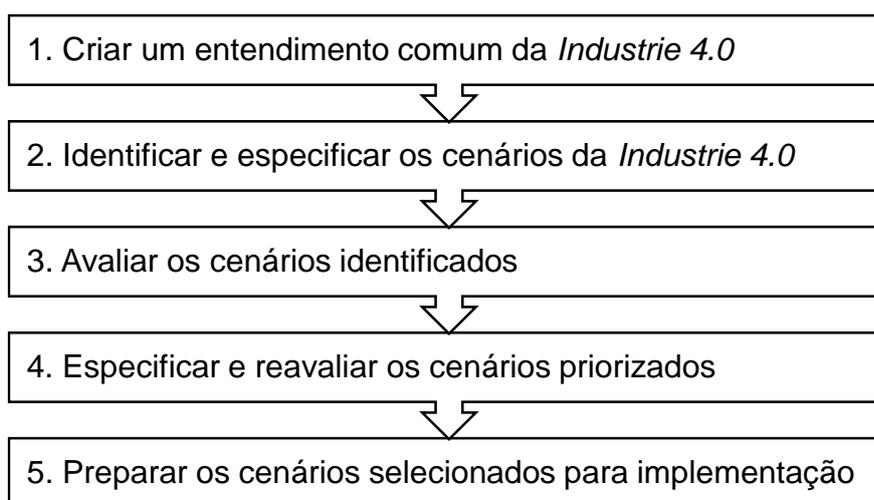


Figura 7: Roteiro de projeto, traduzido de [13].

1. Na reunião de inicialização do projeto, os princípios de implementação da *Industrie 4.0* devem ser apresentados juntamente com outros exemplos de aplicação de sucesso, e discutidos com os membros do projeto. Isso permite criar um entendimento comum entre todas as partes envolvidas [13].
2. Em uma etapa seguinte, a equipe do projeto deve compilar uma coleção de tecnologias básicas da *Industrie 4.0* que possibilitaram a implementação de cenários *Industrie 4.0* com sucesso em outras empresas [13].

3. Para avaliar os cenários potenciais, um modelo de decisão é desenvolvido de acordo com a abordagem do processo de análise hierárquico (*AHP – Analytic Hierarchy Process*). O processo consta de três etapas principais: identificação e seleção de critérios; determinação de pesos de critérios; e avaliação dos cenários potenciais usando os critérios ponderados [13].
4. Com base em entrevista com especialistas internos e externos da empresa, é compilado um caso que inclui uma estimativa de risco e análise custo-benefício [13].
5. Por fim, três cenários selecionados devem ser preparados para sua implementação criando um livro de especificações. Este livro deve incluir os seguintes elementos: descrição detalhada da situação atual e objetivos do projeto, interfaces para outros sistemas, requisitos técnicos, cronograma do projeto e estimativas de custo-benefício [13].

2.5 Benefícios esperados do programa *Industrie 4.0*

A *Industrie 4.0* oferecerá maior flexibilidade e robustez, juntamente com os mais altos padrões de qualidade em processos de engenharia, planejamento, fabricação, operação e logística. Isso levará ao surgimento de cadeias de valor dinâmicas, auto organizadas em tempo real e que podem ser otimizadas com base em uma variedade de critérios, como custo, disponibilidade e consumo de recursos. Além disso, são esperadas melhorias fundamentais para os processos industriais envolvidos na fabricação, uso de materiais na cadeia de suprimentos e gerenciamento do ciclo de vida [8]. As empresas que implementarem o conceito com sucesso poderão obter ganhos de eficiência, receita e custos [11]. Embora a complexidade do sistema aumente, também é esperado:

- Maior flexibilidade: os procedimentos de produção são mais estruturados e dinâmicos; devem reagir de forma mais flexível a mudanças na demanda ou rupturas na cadeia de valor que ocorrem em curto prazo [54];
- Redução dos prazos de entrega: a coleta de dados em tempo real permite rápida tomada de decisão, independentemente da localização [54];

- Customização com menores tamanhos de lote: a *Indústria 4.0* permite a incorporação de critérios individuais específicos para cada cliente em relação ao projeto, configuração, ordenação, planejamento, produção e operação, além de possibilitar modificações em curto prazo [54]. No futuro, será possível incorporar características individuais de clientes nas fases de projeto, planejamento, produção e operação. Será possível realizar mudanças de última hora durante a fabricação. Isso tornará possível a fabricação de itens únicos e quantidades pequenas de mercadorias de forma rentável [8].
- Redução de custos: empresas que otimizam suas cadeias de valor e aumentam a automação de sua fabricação, reduzem seu custo de capital. Podem reduzir seus custos de energia através do controle inteligente das instalações da fábrica, como também reduzir o custo com pessoal, pois processos de produção altamente automatizados exigem uma diminuição do número de funcionários pouco qualificados [54].

As abordagens de soluções da *Indústria 4.0* estão preparando o caminho para inovações relacionadas a produtos, serviços e processos de produção aprimorados. Dessa forma, por um lado, a *Indústria 4.0* pode ajudar as empresas a reduzir os custos de sua produção, e, por outro lado, um aumento nas vendas também pode ser alcançado [14].

Com a implementação do programa, diversas melhorias serão notadas na cadeia de valor. A *Indústria 4.0* vai ajudar a garantir que as empresas possam atingir um processo de produção eficiente [55]. Além disso, máquinas poderão prever falhas e desencadear processos de manutenção de forma autônoma e a logística será auto organizada, reagindo a mudanças inesperadas na produção [56].

De um estudo realizado no ano de 2014 com 235 empresas, nota-se que elas terão benefícios quantitativos significativos dos investimentos nas aplicações da *Indústria 4.0* nos próximos cinco anos. De acordo com a Figura 8, estima-se que haverá uma média de 17,9% no aumento da eficiência dessas indústrias. Isso corresponde a um aumento anual de 3,3%. Estima-se também que haverá uma média de 13,8% na redução de custos das indústrias, o que corresponde a uma redução anual de 2,6% [55].

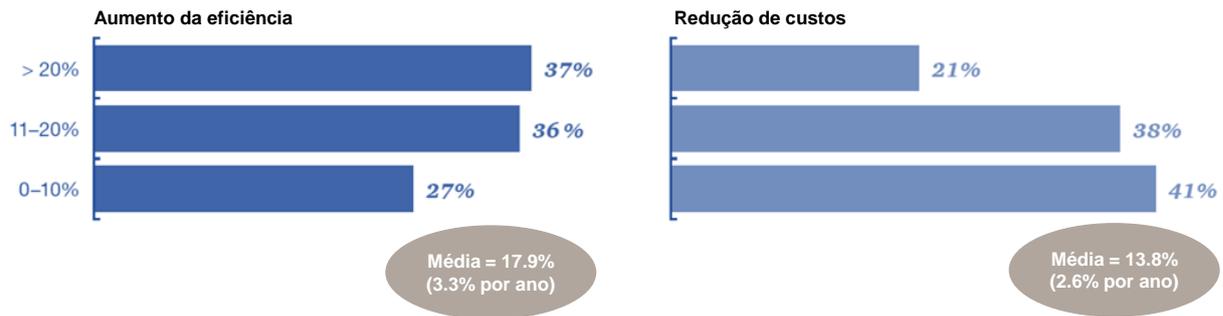


Figura 8: Benefícios quantitativos da Indústria 4.0, adaptado de [55].

Portanto, considerando-se 235 empresas, 37% delas teria um aumento de eficiência maior que 20% e 21% delas teriam uma redução de custos maior que 20% [55].

A colaboração na cadeia de suprimentos também pode ser um benefício esperado pelos parceiros em uma cadeia produtiva, pois a redução de custos pode ser repassada ao longo da cadeia.

Benefícios qualitativos também são esperados, como melhor planejamento e controle da produção e logística, maior flexibilidade na produção e satisfação dos clientes, conforme mostra a Figura 9 [55].

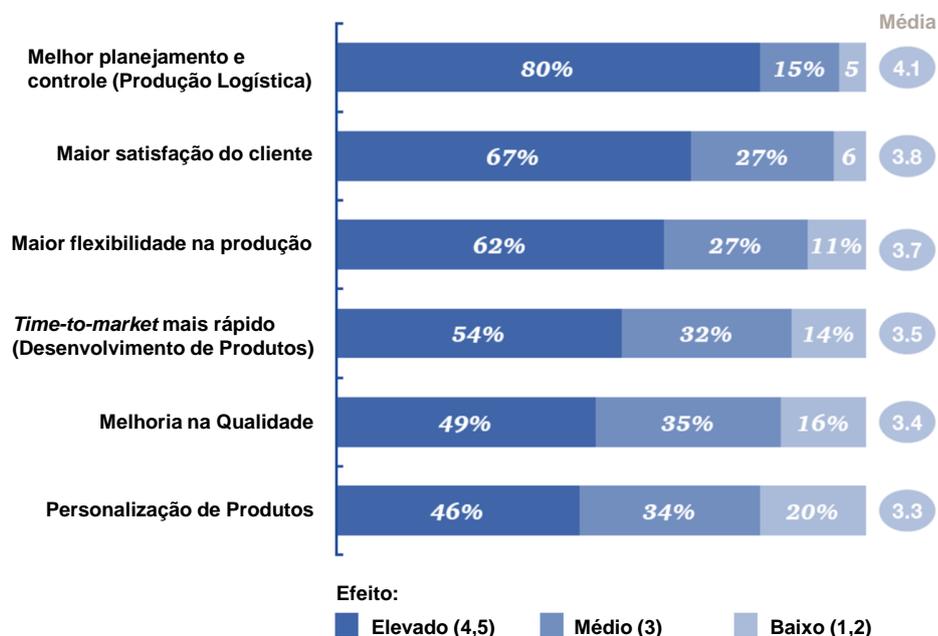


Figura 9: Benefícios qualitativos da Indústria 4.0, adaptado de [55].

Das empresas pesquisadas, 80% melhoraram seu planejamento e controle (produção logística) significativamente; 15% delas obtiveram melhora mediana e 5% delas

obtiveram poucas melhorias nesse quesito. Multiplicando-se essas porcentagens pelo peso dos respectivos efeitos e somando-as, obtém-se a média de cada benefício. Por exemplo: $(80\% * 4,5) + (15\% * 3) + (5\% * 1,2) = 4,11$. Isso é equivalente para os demais quesitos avaliados [55].

A *Indústria 4.0* também oferece a oportunidade de satisfazer os requisitos dos clientes em termos de rastreabilidade de material, produto e dados processuais. Eles esperam informações completas de seus fornecedores para monitorar o ciclo de vida de um produto [55]. Dessa forma, é possível que os critérios individuais e específicos de cada cliente sejam incluídos nas fases de projeto, configuração, ordenação, planejamento, fabricação e operação e possibilitem a incorporação de mudanças de última hora. Também é possível fabricar itens únicos e gerar tamanho de lote único, enquanto ainda mantém seus lucros [8].

Outro benefício alcançado pelo programa está relacionado ao desenvolvimento profissional dos trabalhadores e equilíbrio entre vida e trabalho. Os sistemas de assistência inteligentes livram os trabalhadores de ter que executar tarefas de rotina, permitindo que eles possam se concentrar em atividades criativas e de valor agregado. Isso permitirá que os trabalhadores com mais experiência ampliem sua vida profissional e permaneçam produtivos por mais tempo [8].

3 Justificativa, Objetivos e Método de trabalho

Com a evolução das tecnologias, as organizações terão que se adequar para obter os ganhos prometidos com a utilização das mesmas. Ocorrerá uma migração das formas de produção atuais e a utilização da *Indústria 4.0* será inevitável. Porém essa migração não é simples e irá avançar de formas diferentes em cada empresa e setor.

Pelas pesquisas realizadas e pelo contato com organizações localizadas no Brasil, foi possível notar que existem algumas desconexões com a ideia geral da *Indústria 4.0* e seus conceitos. As organizações ainda não conseguem identificar um ponto convergente entre esses conceitos e suas estratégias e, assim, relacioná-los. Em conversas com diretores de organizações de diversos setores foi possível identificar que no Brasil os assuntos relacionados a *Indústria 4.0* ainda são relativamente recentes, assim nota-se que a teoria e a prática não estão caminhando para o mesmo lado. Da necessidade de sanar essa dificuldade surgiu a demanda de projetos relacionados ao tema para que as organizações pudessem entender do assunto na prática.

A parceria entre universidade e empresa seria o primeiro passo para sanar essa lacuna. Por se tratar de um assunto recente a oportunidade de executar um projeto na área traz grande visibilidade para a área da pesquisa. Os resultados de um projeto em uma área pouco estudada podem abrir os caminhos para que novas pesquisas sejam realizadas através da análise das dificuldades encontradas no decorrer de sua execução. Estudos mostram que não existe um método que traga aplicações de *Indústria 4.0* capazes de serem aplicados em diferentes organização. Para sanar essa dificuldade, novos métodos e ferramentas são necessários para nortear e dar suporte para alinhar as estratégias organizacionais com as inovações propostas.

Posto isto, faz-se necessário que as organizações obtenham dados sobre seu estado tecnológico para poderem realizar um estudo específico e identificarem possíveis pontos onde a *Indústria 4.0* pode começar a atuar, bem como adequar suas estratégias e se anteciparem aos impactos que virão a ocorrer.

Uma estratégia de migração seria analisar as condições atuais da indústria, avaliar aonde se deseja chegar e realizar melhorias graduais para atingir a visão da *Indústria*

4.0, porém atualmente não existe um modelo padrão capaz de atender a todas as indústrias e setores. Existem modelos genéricos para a migração que não são capazes de contemplar as especificidades de todas as indústrias, por exemplo.

Isso abriu espaço para que novos estudos fossem realizados para identificar e desenvolver uma forma para utilizar as tecnologias relacionadas a *Indústria 4.0* que fossem capazes de atender aos requisitos de uma organização multinacional e que pudessem servir como base para outras aplicações.

Algumas melhorias foram previamente identificadas pela organização que, vendo a necessidade, firmou uma parceria com o laboratório SCPM para que soluções fossem propostas. O trabalho em questão é resultado dessa parceria e da aplicação de uma proposta de *roadmap* para a digitalização de uma linha de montagem.

3.1 Objetivo geral

Esta dissertação tem como principal objetivo propor um *roadmap* para a digitalização de uma linha de montagem de forma a criar condições de implementar a tecnologia *Indústria 4.0* de forma eficiente.

3.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo deste trabalho, foram determinados os seguintes objetivos específicos:

- Identificar os conceitos referentes à *Indústria 4.0* na literatura;
- Identificar uma forma de utilizar conceitos da *Indústria 4.0* na indústria;
- Propor um *roadmap* que seja capaz de estreitar a distância entre teoria e prática;
- Demonstrar os benefícios obtidos através da implantação do *roadmap*.

3.3 Método de trabalho

O presente trabalho tem como Projeto Mãe o Projeto BRAGECRIM #027/14 - *Smart Components within Smart Production Processes and Environments* – SCoPE e está integrado tanto a este projeto também como com as parcerias industriais do SCPM especialmente para a definição da planta piloto onde a parte prática do projeto foi desenvolvida.

Este trabalho é caracterizado como uma pesquisa-ação. A pesquisa-ação requer ação tanto nas áreas prática quanto pesquisa, de modo que, em maior ou menor medida, terá características tanto da prática rotineira quanto da pesquisa científica. Neste tipo de pesquisa, os pesquisadores desempenham um papel ativo e interagem com o objeto de estudo para a equação dos problemas encontrados [57].

Para que uma pesquisa seja qualificada como pesquisa-ação é fundamental a implantação de uma ação pelos atores envolvidos no problema observado. Os pesquisadores orientam a investigação em função dos meios disponíveis. Quanto ao contexto, a pesquisa-ação é realizada dentro de uma organização. Assim, é qualificada como uma estratégia de pesquisa na engenharia de produção que visa produzir conhecimento e resolver um problema prático [58,59].

A pesquisa-ação pode ser classificada como técnica, prática ou emancipatória, como mostra a Tabela 3. Essa classificação é realizada de acordo com o papel desempenhado pelo observador, objetivos e relacionamento entre pesquisadores e participantes [60,61].

Tabela 3: Classificações da pesquisa-ação e suas características, adaptado de [61]

Classificação	Objetivos	Papel do pesquisador	Relacionamento entre pesquisador e participantes
1.Técnica	Eficácia / Eficiência da prática profissional Desenvolvimento profissional	Especialista externo	Co-opção (dos participantes que dependem do facilitador)
2.Prática	Objetivos da classificação 1 Compreensão dos participantes Transformação de sua consciência	Papel socrático, incentivando a participação e a autorreflexão	Cooperação (consultoria do processo)
3.Emancipatória	Objetivos da classificação 2 Independência dos participantes em relação a ordens tradicionais A sua crítica à estrutura burocrática Transformação da organização e do seu sistema	Moderador do processo (responsabilidade compartilhada igualmente com os participantes)	Colaboração (comunicação sistemática)

Analisando as classificações da pesquisa-ação, é possível classificar o presente trabalho na modalidade 2, prática. Essa afirmação é possível uma vez que a pesquisadora representa um papel socrático, em que, através de diálogos, traz reflexões e descobertas, incentivando a participação e a autorreflexão dos participantes. O relacionamento entre pesquisadora e participantes é de cooperação, já que estes trabalham em função de um mesmo objetivo. No que diz respeito ao papel dos participantes, eles são os responsáveis pela aplicação do *roadmap* com a orientação e participação da pesquisadora, além de trazerem demandas e recomendações para o melhor funcionamento das atividades. Por meio dessa interação, é possível que a pesquisadora realize ajustes e melhorias no *roadmap* para atender as demandas levantadas.

O ciclo da pesquisa-ação utilizado para a realização deste trabalho é composto por cinco etapas, Figura 10:

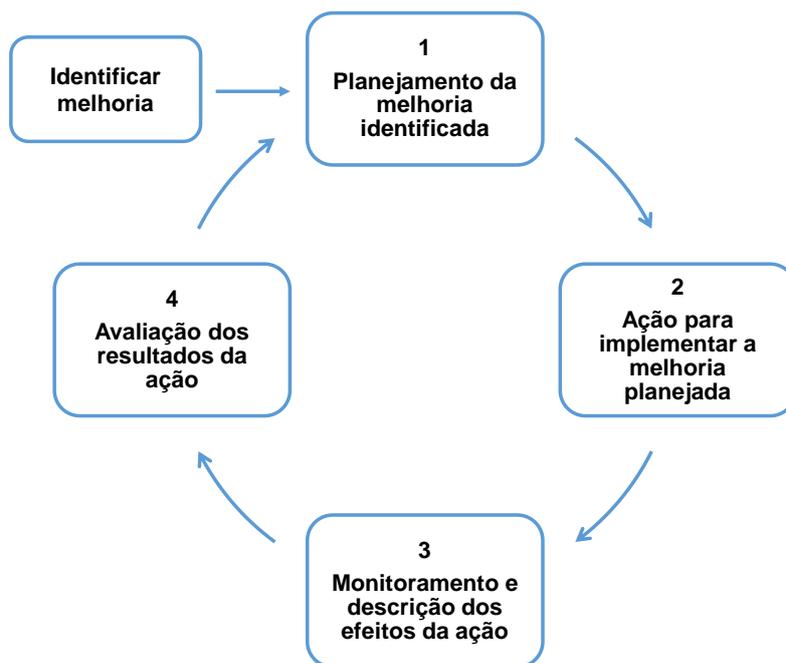


Figura 10: Ciclo da pesquisa-ação, adaptado de [57]

O primeiro passo para dar início ao ciclo da pesquisa-ação é a identificação de uma melhoria. Isso consiste na identificação dos problemas e atual situação da empresa. A partir dessa atividade é possível identificar uma melhoria. O planejamento da melhoria identificada, etapa 1, consiste na realização do plano de ação para colocar a mudança em prática. A etapa de ação para implementar a melhoria planejada, etapa 2, é quando o plano de ação desenhado na etapa 1 é executado.

No monitoramento e descrição dos efeitos da ação, etapa 3, todas as informações relacionadas à implementação da ação são monitoradas e detalhadas. Por fim, a etapa 4, avaliação dos resultados da ação, consiste na análise dos resultados da ação para avaliar se as ações tomadas surtiram os efeitos desejados. Todas as etapas descritas devem ser realizadas em cooperação entre os pesquisadores e os participantes, membros da organização.

Levando-se em consideração que este é um trabalho acadêmico, as investigações levantadas foram realizadas tanto dentro de uma organização como em um laboratório de pesquisa. Dessa forma, houve a integração entre a pesquisa-ação e métodos de pesquisa para o levantamento bibliográfico para compor este trabalho e auxiliar no desenvolvimento do *roadmap* proposto. Dessa forma, as etapas para a realização deste trabalho foram adotadas conforme a Figura 11.

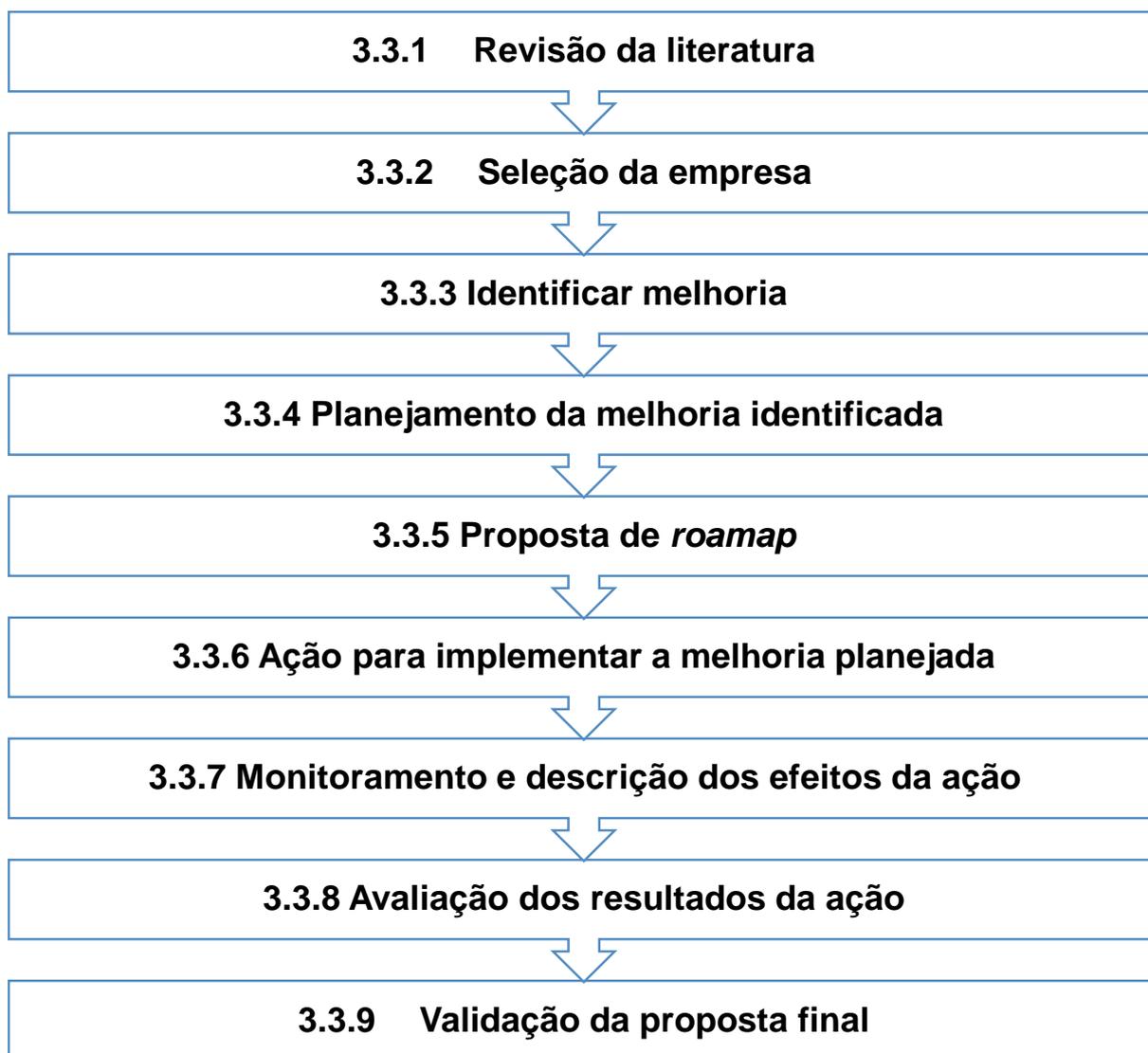


Figura 11: Etapas do trabalho

3.3.1 Revisão da literatura

Essa etapa consistiu na realização de uma pesquisa aprofundada e revisão da literatura sobre os temas relacionados ao trabalho desenvolvido. Tal revisão foi realizada baseada em diversos periódicos indexados e livros. Os resultados desta etapa constituíram na compilação e apresentação da literatura pesquisada para facilitar o entendimento e formar uma base para o desenvolvimento do trabalho e constitui o Capítulo 2 deste trabalho.

O objetivo desta revisão da literatura era de encontrar soluções análogas ao objetivo geral deste trabalho para que pudessem ser utilizadas ou adaptadas para a realidade

deste objeto de estudo. Algumas dessas referências serviram como base para nortear o desenvolvimento do *roadmap* apresentado neste documento [8,12,13,14,15].

3.3.2 Seleção da empresa

A seleção da empresa para o desenvolvimento da parte prática deste trabalho foi realizada por parcerias industriais do laboratório SCPM. A pesquisa foi desenvolvida em uma empresa multinacional alemã, na planta localizada no interior do estado de São Paulo – Brasil. O grupo, líder mundial no fornecimento de tecnologia e serviços, está localizado no Brasil há mais de 60 anos e emprega cerca de 8.503 colaboradores.

Os principais produtos desenvolvidos na planta estudada são componentes automotivos, porém o grupo opera em várias divisões de tecnologias automotivas, tecnologias industriais, tecnologias de construção e produção de bens de consumo.

A empresa já havia detectado a necessidade de substituir o atual método de *setup* de uma de suas linhas de montagem, onde é realizada a montagem do produto *booster*. Dessa forma, o propósito da parceria realizada entre o laboratório SCPM e a empresa foi de capacitar os colaboradores no desenvolvimento de um método atrelado às tecnologias da *Indústria 4.0* que fosse capaz de atender o objetivo de substituir o método atual de *setup*. Com isso, surgiu a oportunidade para a pesquisadora definir os passos e construir o *roadmap* para a digitalização dos dados da linha de montagem, o qual foi aplicado na linha de montagem.

A empresa se comprometeu a apoiar as atividades propostas pela pesquisadora, garantindo acesso às instalações, informações necessárias para o desenvolvimento do trabalho e disponibilidade de pessoas para formar um grupo de projetos multidisciplinar. Porém destacou que algumas informações são sigilosas e, por esse motivo, não podem ser apresentadas nesse trabalho.

3.3.3 Identificar melhoria

Para que a atividade de identificar uma melhoria seja realizada é preciso analisar o contexto e a situação atual da organização. No caso deste trabalho, algumas

melhorias foram previamente identificadas pela organização que, vendo a necessidade, firmou uma parceria com o laboratório de pesquisa para que soluções fossem propostas. As melhorias foram discutidas em uma reunião inicial realizada na empresa junto a gestores e membros do laboratório. Os gestores evidenciaram a necessidade da realização de um projeto que envolvesse *Industrie 4.0*, tema que faz parte da linha de pesquisas do laboratório, portanto tema em que os pesquisadores possuem *know-how* para atuar.

3.3.4 Planejamento da melhoria identificada

Já com o objetivo do projeto definido, deu-se início o planejamento para colocar a melhoria em prática. Inicialmente, foi realizada uma visita ao chão de fábrica com a finalidade de apresentar a linha de montagem do *booster* para a pesquisadora. Nesta visita foi possível analisar como são realizados os *setups* e como os dados são registrados pelos operadores de cada estação de trabalho. Esta etapa foi importante para que a pesquisadora entendesse na prática quais eram as falhas que poderiam ocorrer e qual seria o melhor diagnóstico para atingir o objetivo do projeto. Após essa visita, foi concedido acesso livre para a pesquisadora à organização e dois facilitadores internos foram selecionados para auxiliar nas atividades e realizar um trabalho cooperativo.

Em um primeiro momento, a pesquisadora passou por uma integração com um treinamento sobre saúde, segurança e meio ambiente. Posteriormente recebeu os equipamentos de proteção individual necessários para ter acesso ao chão de fábrica. Durante um mês e meio foram realizadas visitas diárias à organização com a intenção de elaborar um levantamento sobre a linha de montagem e se familiarizar com o processo. Essas visitas tiveram o objetivo de permitir que uma proposta inicial de condução do projeto fosse realizada.

Depois de ter analisado as atividades realizadas na linha de montagem, a pesquisadora passou duas semanas no laboratório elaborando uma proposta de *roadmap* para a condução do projeto. Com a finalização das atividades no laboratório, foi realizada uma reunião com os dois facilitadores para que a proposta inicial de um *roadmap* fosse apresentada. A proposta foi discutida e sugestões de melhoria foram

levantadas. Ficou definido que o *roadmap* deveria conter todas as etapas iniciais, desde a necessidade da parceria com uma instituição de ensino até a coleta e análise dos resultados da implantação do *roadmap*. Ao final da reunião, um novo cronograma de visitas à empresa foi elaborado para que as ações para implementar a melhoria fossem executadas.

3.3.5 Proposta de *roadmap*

Com os materiais adquiridos nos dois meses de pesquisa, visitas à organização e reuniões com o time de projeto, a pesquisadora construiu uma nova proposta de *roadmap* para a digitalização dos dados da linha de montagem.

A proposta final será detalhada no Capítulo 4.

3.3.6 Ação para implementar a melhoria identificada

Neste ponto, é importante que todos os conhecimentos que envolvam a melhoria identificada sejam compartilhados, resultando assim em um alinhamento dos conhecimentos entre os membros do time de projeto.

Um *workshop* foi organizado dentro da organização, como a segunda etapa do *roadmap* recomenda, e contou com a participação do time de projeto composto por dois pesquisadores e cinco gestores. Durante o *workshop* foram abordados temas como a análise de competências da organização, classificação do estágio tecnológico da linha de montagem, avaliação da melhoria identificada através de análise de viabilidade econômica e a criação de indicadores para demonstrarem os ganhos obtidos após a implementação da melhoria.

3.3.7 Monitoramento e descrição dos efeitos da ação

Após a implantação é importante que se faça o acompanhamento da melhoria realizada para avaliar as mudanças ocorridas nos processos.

Reuniões para análise da evolução da implementação devem ser organizadas com a finalidade de avaliar se é preciso realizar alguma mudança na condução do projeto ou se o mesmo atingiu o seu objetivo proposto inicialmente.

3.3.8 Avaliação dos resultados da ação

Enquanto a melhoria é implementada se faz necessário realizar reuniões para a análise dos resultados parciais e impactos dessa melhoria nos processos. As reuniões levantam discussões sobre as dificuldades encontradas até aquele momento e como solucioná-las. Do surgimento dos problemas, esses devem ser discutidos para que soluções sejam propostas em colaboração com todo o time de projeto.

3.3.9 Validação da proposta final

A proposta foi validada a partir da implantação do *roadmap* na organização. Os resultados dessa atividade podem ser observados no Capítulo 5.

É importante salientar que mudanças podem ocorrer no decorrer da implantação do *roadmap*, ocasionando, assim, ajustes necessários de acordo com as necessidades da organização.

4 Proposta de um *roadmap* para a digitalização de uma linha de montagem

Na era digital, para acompanhar a corrida pela industrialização é preciso que as indústrias brasileiras estejam preparadas para a nova onda tecnológica que já ocorre em outros países e traz desafios para a competitividade internacional.

As empresas lidam constantemente com incertezas e estratégias para desenvolvê-las. O processo de migração de tecnologias deve ser pensado e adaptado de forma a responder as questões particulares de cada empresa, visando a qualidade dos seus processos.

Ainda não existem métodos ou modelos para a implementação da *Industrie 4.0*. Cada empresa deve encontrar sua própria abordagem e responder a algumas questões, tais como [55]:

- Quais benefícios minha empresa irá obter com a *Industrie 4.0*?
- Quais ajustes devem ser implementados no atual modelo de negócios?
- De que forma a *Industrie 4.0* é útil para a minha empresa?
- Quais estratégias de implementação e investimentos minha empresa precisa?
- Quais medidas devem ser aplicadas para formar funcionários?
- Como a coordenação e integração com as tecnologias de produção existentes, sistemas de TI e conjuntos de dados ocorrem?

O *roadmap* proposto nesse trabalho, Figura 12, serve como uma ferramenta prática para a identificação do estágio tecnológico e implementação de tecnologias para a digitalização de uma linha de montagem. Espera-se que este sirva como guia para que a ideia seja replicada em outras áreas industriais a fim de que abordagens para a *Industrie 4.0* sejam implantadas.

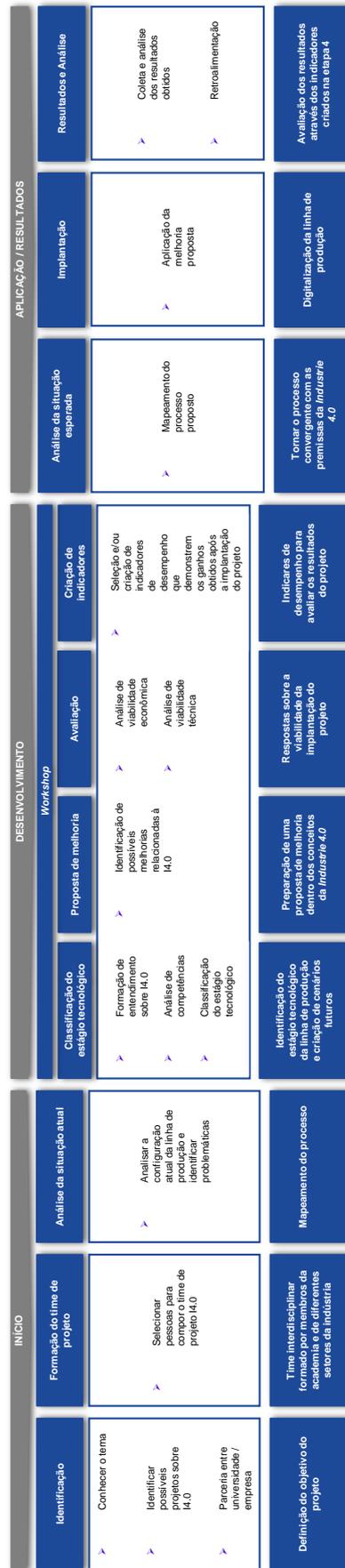


Figura 12 - Roadmap para a digitalização de uma linha de montagem

Esse modelo foi construído através de uma extensa pesquisa bibliográfica acerca do tema *Indústria 4.0*, conhecimento sobre aplicações em indústrias alemãs e métodos e técnicas de gestão de projetos na engenharia de produção. Isso demonstra que o mesmo é bem fundamentado cientificamente e sua estrutura segue uma lógica identificada em outros modelos já aplicados com sucesso. Os benefícios alcançados por meio da sua utilização são demonstrados no capítulo 6.

O *roadmap* é dividido em três etapas, Figura 13, que são Início, Desenvolvimento e Aplicação / Resultados. Essa divisão foi proposta para facilitar a implantação de projetos relacionados ao tema. Cada uma dessas etapas é composta por fases que serão detalhadas ao longo deste capítulo.



Figura 13 - Etapas do roadmap

O *roadmap* proposto mescla técnicas de engenharia de produção para metodologias de gestão de projetos que apoiam a organização, o gerenciamento e a criação de ideias para atividades relacionadas a um objetivo pré-definido.

4.1 Etapa 1 - Início

Essa etapa representa o limite entre as formas de produção tradicionais e a aquisição de conhecimento e interesse em adaptá-las para conceitos de *Indústria 4.0*. É nesta etapa que surgem as demandas por projetos relacionados ao tema e investigações de como implementá-los. A Figura 14 representa as fases da Etapa 1 do *roadmap*.

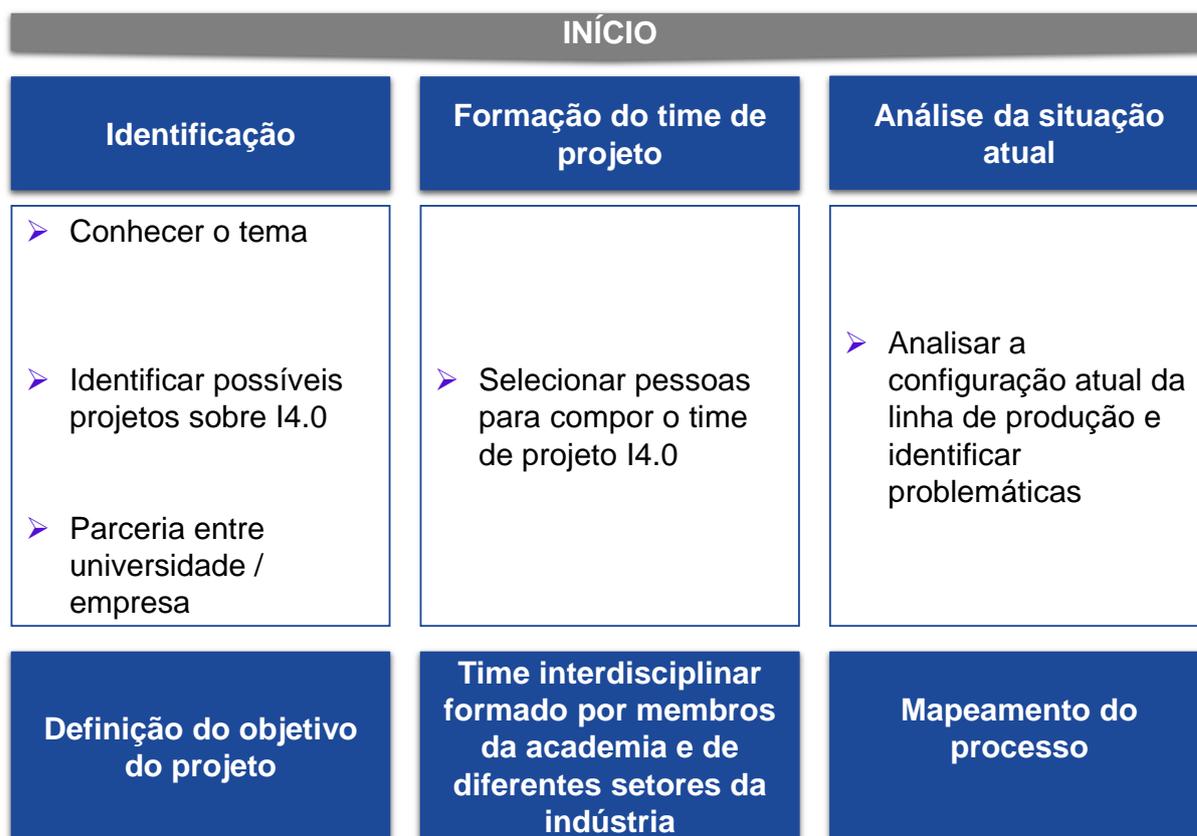


Figura 14: Etapa 1 do roadmap para a digitalização de uma linha de montagem

4.1.1 Fase de identificação

O objetivo da fase de identificação é definir o escopo do projeto de melhoria, seguindo as premissas e soluções relacionadas à *Indústria 4.0*. O escopo do projeto é a soma dos produtos, serviços e resultados a serem fornecidos na forma de um projeto [62]. Deste modo, o primeiro passo para estabelecer qualquer tipo de tomada de decisão é o conhecimento sobre o tema e a pretensão de colocá-lo em prática.

A partir do conhecimento sobre o tema, uma demanda é criada. Uma peça importante na fase inicial já observada em outros métodos de migração é a parceria entre universidade e empresa, alinhando, assim, os conhecimentos técnicos e práticos. Essa parceria auxilia no desenvolvimento de conhecimento sólido relacionado à *Indústria 4.0* por parte da indústria. Como resultado, essa etapa deve definir o objetivo do projeto para nortear as fases posteriores.

As ferramentas necessárias para a realização dessa etapa são: *brainstorming*, *benchmarking* e diagrama de Pareto.

Pela análise das causas raízes obtidas a partir da etapa 1, deve-se utilizar um diagrama de Pareto de modo a quantificar e priorizar as causas pontuadas. Deste modo, identifica-se o ponto focal de maior influência no processo. A partir deste ponto, inicia-se o processo de busca pela tratativa mais adequada, em que, para tal, são utilizados o *benchmarking*, para conhecer as melhores práticas já realizadas, e o *brainstorming*, para realizar análises quanto às práticas levantadas, bem como utilizar dos conhecimentos do corpo técnico da própria equipe para a formação de tratativas.

4.1.2 Fase da formação do time de projeto

Com a definição dos objetivos do projeto e uma visão preliminar dos processos a serem desenvolvidos, torna-se necessário a formação do time que desenvolverá o projeto em questão. A *Indústria 4.0* não deve ser abordada isoladamente, mas deve ser vista como uma das várias áreas-chave em que é necessária ação. Conseqüentemente, ela deve ser implementada de forma interdisciplinar e em estreita cooperação com as outras áreas-chave [8]. Posto isto, o time deve ser composto por pessoas de diferentes áreas de atuação dentro da indústria, como produção, desenvolvimento, tecnologia da informação, tempos e métodos e desenvolvimento de *software*. Apenas com uma equipe interdisciplinar será possível formar uma compreensão aperfeiçoada sobre *Indústria 4.0*.

Os diferentes antecedentes e conhecimentos de uma equipe multidisciplinar pode fornecer pontos de vista distintos e experiências sobre um ponto comum, gerando discussões mais profundas sobre o assunto [63]. Este modelo é especialmente útil na atualidade, dado as grandes pressões competitivas derivadas da necessidade de criar valores inovadores aos processos e produtos, tornando-se uma nova tendência nas indústrias [64].

4.1.3 Fase de análise da situação atual

A realização de um mapeamento de processos possibilita a identificação de melhorias que podem fazer com que o processo em análise obtenha melhores resultados operacionais, bem como fazer o desdobramento dos indicadores de desempenho e a implantação das soluções propostas [65]. Neste âmbito, o objetivo desta fase é analisar a configuração atual da linha de montagem, bem como o funcionamento de seus processos, e identificar problemáticas e possíveis melhorias que estejam atreladas aos conceitos da *Indústria 4.0*.

É importante que os atores do projeto construam um conhecimento aprofundado sobre a produção para identificarem lacunas a serem estudadas. Nessa etapa, o mapeamento do processo é realizado para entender, de forma clara, como a unidade de negócio é operada. Cada ação realizada na linha de montagem deve ser representada de forma bem estruturada para que melhorias no processo sejam identificadas de forma concisa e coerente.

Para a realização dessa etapa, algumas ferramentas tornam-se necessárias, sendo elas: fluxogramas, folhas de verificação, diagrama de causa e efeito e matriz de desconexões. Ao final do mapeamento do processo, é importante que as informações coletadas sejam documentadas e analisadas para que melhorias no processo sejam identificadas.

Para o levantamento do processo real (AS IS), utilizam-se os fluxogramas. Em seguida, de modo a conhecer a problemática do processo, as folhas de verificação e a matriz de desconexões devem ser utilizadas de modo a realizar um levantamento das interferências conhecidas. Posteriormente, para a definição das causas raízes dos problemas apontados, o diagrama de causa e efeito deve ser utilizado, fornecendo aos usuários e equipe de projeto um conhecimento mais profundo sobre as interferências do processo.

4.2 Etapa 2 – Desenvolvimento

Com o objetivo definido e o time de projeto formado, dá-se início à etapa de desenvolvimento do *roadmap*, apresentado na Figura 15. É na fase de desenvolvimento onde as ideias, análises e avaliações serão realizadas. Para isso, é proposto que se realize um *workshop* com o objetivo de gerar um entendimento comum e trazer ideias de projetos relacionados ao tema *Indústria 4.0*. Todos os membros do time de projeto devem participar do *workshop* para que o *know-how* de diversos departamentos e áreas sejam aproveitados. Nesta etapa, algumas ferramentas relacionadas ao gerenciamento de projetos são sugeridas para fundamentar a aplicação das melhorias identificadas.

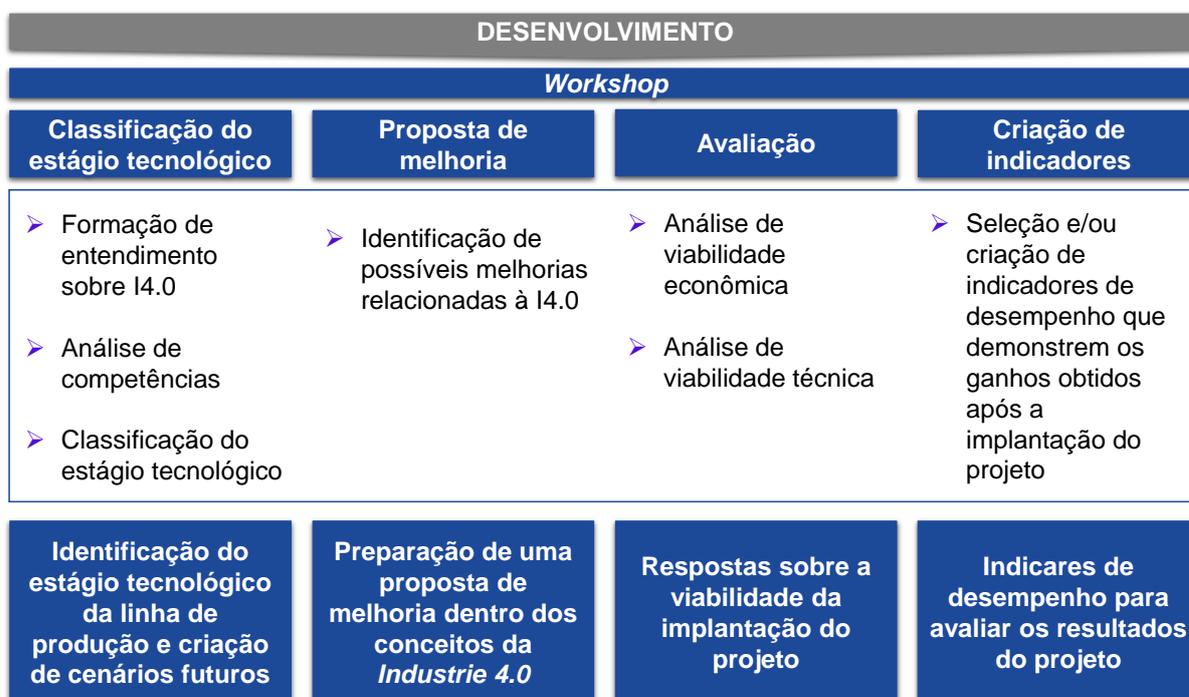


Figura 15: Etapa 2 do roadmap para a digitalização de uma linha de montagem

4.2.1 Fase da classificação do estágio tecnológico

O facilitador do *workshop* deve preparar uma apresentação com os principais conceitos sobre o tema *Indústria 4.0* e mostrar casos de uso de sucesso já implantados na organização e em outras indústrias, sendo possível a criação de um entendimento geral sobre o tema, aumento dos índices de inspiração e geração de

ideias do time de projeto. Deste modo, com a equipe obtendo um entendimento comum e consolidado sobre o projeto, será possível realizar análises de competência de modo a identificar quais tecnologias, habilidades e conhecimentos relacionados à *Indústria 4.0* já são utilizados pela indústria.

Posteriormente, através da utilização da *Toolbox Indústria 4.0* [14], objetiva-se identificar o estágio tecnológico da linha de montagem da empresa.

Para a realização desta etapa, as ferramentas utilizadas são: *brainstorming* e matriz de desconexões.

4.2.2 Fase da proposta de melhoria

Após a fase de classificação do estágio tecnológico, o time de projetos terá mais conhecimento sobre o tema *Indústria 4.0* e poderá começar a pensar nas propostas de melhoria. Esta fase possui grande convergência com os conhecimentos obtidos referentes à execução da fase de identificação, na etapa 1 - Início. Neste ponto do *workshop*, o facilitador deve guiar a equipe de projeto no desenvolvimento de tratativas, de modo com que se alcancem os objetivos traçados.

Para a realização desta etapa, algumas ferramentas tornam-se necessárias, sendo elas: *benchmarking* e a utilização do pilar gestão de riscos, contido nas metodologias de gerenciamento de projetos.

A ferramenta *brainstorming* tem como objetivo fomentar o time de projeto na geração de ideias que levam à preparação de uma proposta de melhoria dentro dos conceitos da *Indústria 4.0*. Atrelado a este objetivo, o *benchmarking* visa fornecer ao time de projeto um maior conhecimento sobre as boas práticas aplicadas por empresas que já contenham iniciativas *Indústria 4.0*. Vale ressaltar que estas atividades devem estar alinhadas às problemáticas levantadas na construção dos fluxos AS IS. Por fim, deve-se avaliar as tratativas desenvolvidas, de modo a identificar riscos inerentes a sua aplicação.

4.2.3 Fase de avaliação

A fase de avaliação tem o objetivo de trazer respostas a viabilidade técnica e econômica da proposta de melhoria. O objetivo de uma análise de viabilidade econômica se encontra na avaliação da relação custo-benefício do projeto proposto, ou seja, se o que se propõe é financeiramente atraente para a instituição frente ao seu ponto de vista estratégico [66]. Já a análise de viabilidade técnica é o processo que visa identificar se um determinado plano é viável, ou seja, se ele pode ser aplicado. Uma avaliação de viabilidade técnica deve ser aplicada em todos os projetos, de modo a identificar se o projeto proposto pode ser realizado no contexto atual da organização [67].

Para a realização da análise de viabilidade econômica, o conhecimento sobre alguns indicadores se faz necessário, como por exemplo *payback*, VPL e a relação entre TIR e TMA.

4.2.4 Fase de criação de indicadores

A fase de criação de indicadores consiste na elaboração de indicadores de desempenho capazes de quantificar os ganhos obtidos após a implantação do projeto. Existem diversos tipos de indicadores e sua escolha depende dos resultados considerados relevantes para cada tipo de projeto e organização.

Uma ferramenta importante para apoiar esta fase é a utilização do *balanced scorecard* (BSC).

Aqui, o *brainstorming* torna-se uma fonte eficiente para a geração de indicadores, dado o perfil multidisciplinar da equipe de projeto, atrelado aos conhecimentos técnicos e teóricos obtidos pelo trabalho mútuo entre empresa e universidade. De modo a alinhar os indicadores gerados, tornando-os convergentes a um objetivo comum, utiliza-se a ferramenta BSC, que tem por objetivo fornecer uma relação de equilíbrio entre objetivos de curtos e longo prazo, entre medidas financeira e não financeiras, entre indicadores de tendências e resultado e entre perspectivas internas e externas de desempenho [68].

4.3 Etapa 3 – Aplicação / Resultados

A Etapa 3 consiste nas fases finais do *roadmap* quando são realizadas atividades para a análise da situação esperada, implantação do projeto proposto e análise dos resultados. A Etapa 3 é apresentada na Figura 16.



Figura 16: Etapa 3 do roadmap para a digitalização de uma linha de montagem

4.3.1 Fase de análise da situação esperada

A fase de identificação busca entender qual é o objetivo específico da equipe de projeto. Com isso em mente, além das entradas e saídas dos processos, que foram identificadas durante a fase de análise da situação atual, na etapa 1, torna-se necessário, a partir deste ponto, considerar os componentes do processo que colaboram para transformar as entradas em saídas e os fornecedores do processo. Assim, busca, na etapa de análise da situação esperada, o mapeamento do processo proposto (TO BE), ou seja, como este deve se comportar após as ações de melhoria identificadas.

A essência de um projeto de reengenharia de processos é a identificação e quebra de regras e fundamentos ultrapassados, e que ainda servem como referência para a execução de certas operações em uma empresa [69,70,71]. Deste modo, a realização do redesenho dos processos tem como objetivo a quebra de paradigmas operacionais, de modo a tornar o processo convergente com as premissas das aplicações *Industrie 4.0*.

Tornam-se necessárias a utilização de algumas ferramentas para a realização da fase análise da situação esperada, sendo elas: *benchmarking* e matriz de causa e efeito.

4.3.2 Fase da Implantação

Esta etapa consiste na implantação das melhorias propostas através dos conceitos gerados nas etapas anteriores. Neste ponto, a aplicação de boas práticas dentro das disciplinas de gerenciamento de projetos torna-se decisivo para o bom andamento do projeto e o alcance dos objetivos esperados.

O gerenciamento de projetos consiste no conhecimento, métodos, habilidades, técnicas e ferramentas utilizadas para o planejamento e gestão das atividades do projeto. Estes pontos estabelecem uma base sólida para o planejamento de atividades, agendamento de recursos e a tomada de decisão quanto à planos eficazes relacionados a possíveis revisões [72].

Para uma boa execução desta etapa, sugere-se a aplicação dos seguintes pilares do gerenciamento de projetos: escopo, custo, tempo, qualidade e integração.

4.3.3 Fase dos resultados e análise

A última fase do *roadmap* é a coleta e análise dos resultados através dos indicadores de desempenho criados ao final da etapa 2. Os resultados irão traduzir se a implantação da mudança trouxe bons resultados para a organização. A análise mostrará se outras melhorias devem ser realizadas.

5 Implantação e verificação do *roadmap*

Nesse capítulo será apresentada a aplicação do *roadmap* proposto com o intuito demonstrar os resultados obtidos.

5.1 Etapa 1 - Início

O tema *Indústria 4.0* está sendo bastante discutido dentro e fora das organizações. Os anos de 2016 e 2017 foram marcados por grandes eventos, congressos e encontros relacionados ao tema, trazendo discussões sobre a teoria da *Indústria 4.0*, casos de uso de implementação e como dar início às atividades no Brasil. Diante disso, diversas indústrias se interessaram em realizar projetos na área.

Este *roadmap* foi aplicado em uma multinacional alemã, líder mundial no fornecimento de tecnologia e serviços. Por se tratar de um grupo alemão, algumas iniciativas relacionadas à *Indústria 4.0* já eram conhecidas, então um dos diretores da organização surgiu com a demanda de realizar um projeto voltado para a *Indústria 4.0* na planta localizada no interior do estado de São Paulo.

5.1.1 Fase de identificação

O objetivo da fase de identificação é definir o escopo do projeto de melhoria, seguindo as premissas e soluções relacionadas à *Indústria 4.0*. Isso envolve o planejamento, os objetivos do projeto e as tarefas a serem realizadas.

Através de congressos, seminários e difusão do tema dentro da organização, o diretor de uma das divisões obteve conhecimentos sobre a *Indústria 4.0* e as potenciais melhorias trazidas através de sua implementação. A partir desse ponto, possíveis projetos relacionados ao tema foram levantados. Com a intenção de colocar os projetos em prática, o diretor buscou maiores informações e identificou que a academia seria uma boa aliada na busca de soluções, já que detém amplo conhecimento teórico.

Algumas melhorias foram previamente identificadas pela organização que, vendo a necessidade, firmou uma parceria com o laboratório SCPM para que soluções fossem propostas. Da parte do laboratório, dois mestrandos ficaram responsáveis por dar andamento ao projeto. Da parte da organização, o time de projeto foi estruturado na fase de formação do time de projeto deste *roadmap*.

As melhorias foram discutidas em uma reunião inicial realizada na organização junto a gestores e membros do laboratório. Os gestores evidenciaram a necessidade da realização de um projeto que envolvesse *Indústria 4.0*, tema que faz parte da linha de pesquisas do laboratório, portanto tema em que os pesquisadores possuem *know-how* para atuar.

Nesta mesma reunião foi discutido sobre a substituição do método de *setup* da linha de montagem do *booster* e, através do grande interesse dos gestores, a melhoria foi identificada e definida. O projeto, então, tem como objetivo digitalizar os dados da linha de montagem do *booster*, a fim de que os dados de *setup* das estações de trabalho sejam registrados automaticamente e sejam livres de erros.

5.1.2 Fase da formação do time de projeto

Na fase da formação do time de projeto um time interdisciplinar composto por membros da academia e de diferentes setores da indústria foi formado. Os membros do projeto são das áreas de produção, tempo e métodos, qualidade, tecnologia de informação e desenvolvedores de *software*.

Para orientar os pesquisadores no início do projeto, dois facilitadores internos à organização foram selecionados. Em um trabalho cooperativo, pesquisadores e facilitadores formaram um time de projeto interdisciplinar composto por mais sete colaboradores. Todos os membros desse grupo tinham pelo menos 7 anos de experiência na organização.

5.1.3 Fase de análise da situação atual

O objetivo da fase de análise da situação atual é analisar a configuração atual da linha de montagem, bem como o funcionamento de seus processos para identificar problemáticas e possíveis melhorias que estejam atreladas aos conceitos da *Indústria 4.0*. Compreender os processos de montagem executados na linha considerando os diferentes modelos do produto fabricado, compreender a execução dos *setups*, analisar todos os dados coletados pelos operadores de produção e como são realizados seus registros são etapas importantes nesta fase.

A linha de montagem do *booster* fornece produtos acabados para 5 clientes, sendo que cada um deles possui especificações diferentes. São realizadas montagens de três modelos de *booster* – 9”, 10” e 11” de diâmetro. No total, a linha monta 11 produtos diferentes. Para cada *setup*, as estações de trabalho são programadas pelo próprio operador, que realiza a inserção da receita do modelo de *booster* que será montado. Em cada *setup* os operadores das estações de trabalho realizam verificações antes de dar início as montagens e anotam os resultados em um caderno de registro. Outros testes também são realizados no início de cada turno e com frequências específicas, como, por exemplo, a cada 30 minutos ou a cada 100 produtos montados. Em algumas estações de trabalho consideradas críticas ao processo de montagem, são realizados testes nas submontagens concretizadas até ali. Foi possível constatar que, dessas verificações, cerca de 60% são realizadas de forma manual. Isso cria uma abertura para otimizar tecnologicamente os procedimentos de execução de testes na linha de montagem para tornar os dados do processo digitais.

Foi realizado um mapeamento do processo para identificar quais eram as entradas e as saídas de cada estação de trabalho, além de analisar as verificações realizadas em cada etapa do processo. Alguns documentos sobre instruções de trabalho também foram analisados no decorrer desse tempo. A linha de montagem é composta por 22 estações de trabalho e, através do mapeamento do processo, foi possível chegar a configuração real da linha de montagem e a sequência de atividades do fluxo de trabalho, Figura 17.

Foram conduzidas entrevistas não estruturadas com os operadores das estações de trabalho para analisar como os dados de *setup* são registrados, quais as dificuldades e quais as sugestões para que o trabalho se tornasse mais eficiente. Observações também foram levadas em consideração dada a importância dos pesquisadores se colocarem ao lado do operador que executava as atividades.

Como resultado das análises realizadas, foi identificado que o *setup* da linha de montagem é realizado em 20 estações de trabalho e ao total são executados 68 Poka-Yokes e 44 testes. Um estudo anterior realizado pela empresa identificou que 70% do tempo de *setup* é gasto com o registro dos dados desses testes em um caderno de registro.

Devido a intenção de digitalizar os dados do *setup* da linha de montagem, foi realizada uma análise para identificar quais tecnologias são utilizadas no método de *setup*. Verificou-se que 99% dos Poka-Yokes são realizados de maneira eletrônica através da interface IHM (interação homem-máquina), sensores, luzes de *led* e dispositivos da ATEQ (para testes de estanqueidade). Apenas 1 dos Poka-Yokes é realizado através de inspeção visual, em que o operador verifica a quantidade de peças por embalagem ao final do processo de montagem.

Ao final da fase de análise da situação atual foi possível constatar que muitos erros ocorrem no momento do preenchimento do caderno de registro. Algumas vezes os operadores se esquecem de realizar as verificações ou de simplesmente anotar seu resultado. Outros problemas como falta de legibilidade e erros de preenchimento também comprometem a veracidade dos dados registrados no caderno de registro. Uma vez que os testes são realizados para garantir a segurança do operador e a qualidade da montagem do produto final, isso é algo que deve ser tratado.

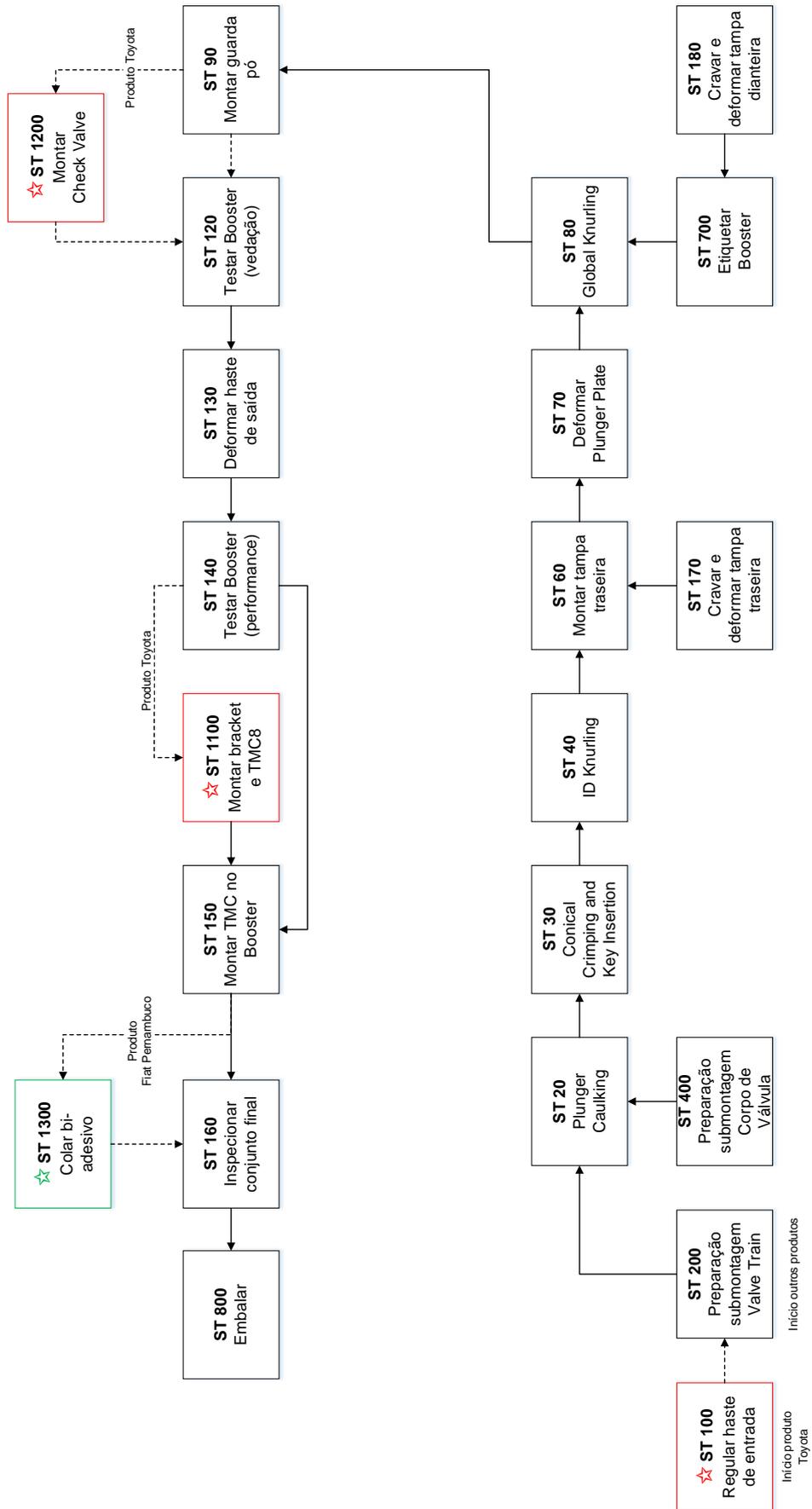


Figura 17: Layout da linha de montagem

5.2 Etapa 2 - Desenvolvimento

Um *workshop* foi desenvolvido com o time do projeto com o objetivo preliminar de desenvolver uma base de conhecimento geral sobre *Indústria 4.0* e, assim, poder classificar o estágio tecnológico da linha de montagem, identificar as possíveis melhorias relacionadas ao tema, avaliar a viabilidade econômica das melhorias e criar indicadores capazes de demonstrarem os ganhos obtidos após a implementação da melhoria.

O *workshop* foi realizado dentro da organização e contou com um facilitador para controlar o tempo das discussões e manter a ordem do conteúdo programático. Os equipamentos utilizados foram equipamentos de multimídia e *flipchart*.

Os materiais foram elaborados pelos pesquisadores que também foram os responsáveis pela sua apresentação. Os principais conceitos sobre *Indústria 4.0* foram mostrados ao time de projeto juntamente com casos de uso de sucesso já implementados em outras organizações. O resultado dessa apresentação foi a criação de um entendimento geral sobre *Indústria 4.0*, pois com o exposto o time pôde criar a sua própria definição sobre o tema. Isso foi importante para a identificação de tecnologias, habilidades e conhecimentos já utilizados na organização.

Também foram apresentadas todas as análises realizadas pelos pesquisadores no decorrer de dois meses contendo o mapeamento do processo da linha de montagem e ressalvas relacionadas ao *setup*.

Participaram do *workshop* pessoas de diferentes áreas da empresa como produção, tempo e métodos, qualidade, tecnologia de informação e desenvolvedores de *software*.

Com o objetivo de documentar os principais resultados, após o *workshop*, um material foi confeccionado pelos participantes.

5.2.1 Fase da classificação do estágio tecnológico

Apoiados pela *Toolbox Industrie 4.0* [14] o time de projeto classificou o estágio tecnológico atual da linha de montagem e identificou possíveis áreas onde as tecnologias *Industrie 4.0* podem ser aplicadas.

O resultado da classificação do estágio tecnológico atual da linha de montagem é ilustrado pela Figura 18 através das indicações em vermelho.

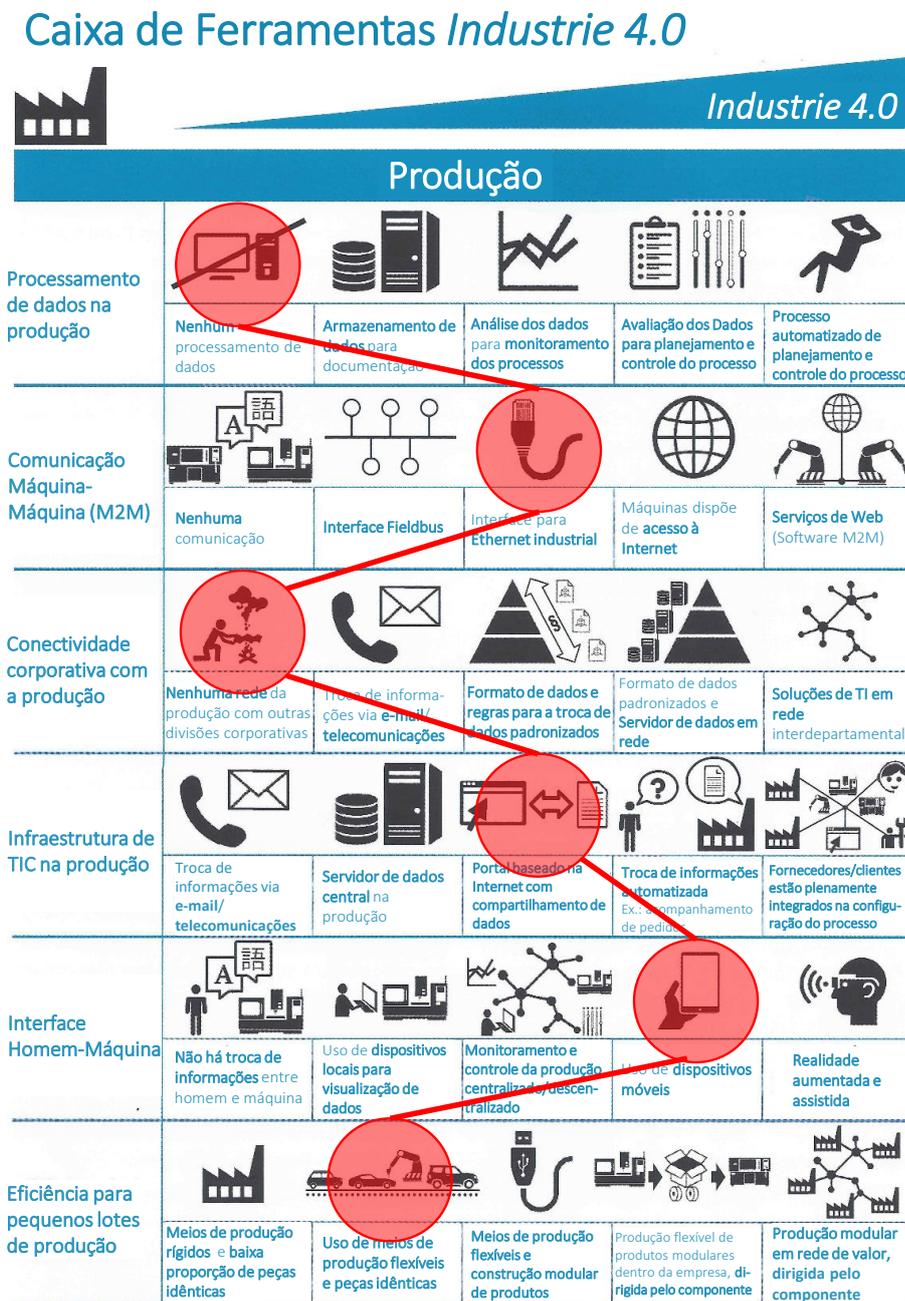


Figura 18: Classificação do estágio tecnológico atual da linha de montagem

De maneira similar a classificação anterior, o estágio tecnológico futuro almejado pela empresa foi desenhado e será apresentado no tópico 5.3.1 deste capítulo.

5.2.2 Fase da proposta de melhoria

A partir da classificação do estágio tecnológico da linha de montagem, melhorias foram propostas pelo time de projeto através de *brainstorming*. Essas melhorias foram discutidas e classificadas afim de que o time de projeto chegasse a um acordo de quais melhorias seriam viáveis implementar.

De maneira geral, a utilização do caderno de registro manual apresenta a desvantagem de ser um processo altamente susceptível a falhas. Existe a possibilidade de o operador se esquecer de executar algum teste ou Poka-Yoke pelo fato da heterogeneidade da frequência em que os mesmos são executados. O método não possui um controle de sequência dos procedimentos de *setup*. Além disso, existem outros fatores que justificam a susceptibilidade às falhas, como possibilidade de erros de medição, erros de preenchimento e qualidade da documentação (legibilidade, graxa ou sujeira nas folhas do caderno, etc.). Outra questão consiste na imprecisão dos dados registrados no caderno, além de que estes não estão disponíveis na forma digital, o que entrava o controle, gerenciamento e também a realização de análise de tendências dos mesmos.

Outra observação se faz com relação a inserção da receita na estação de trabalho. É de responsabilidade do operador inserir a receita correta do produto que será montado e realizar os testes de *setup*, porém o procedimento de *setup* varia de acordo com o modelo do produto. Se por algum motivo a receita for inserida incorretamente, os dados do teste de *setup* estarão incorretos.

Levando o exposto em consideração, algumas melhorias foram identificadas pelo time de projeto, sendo elas:

- Padronização da frequência de testes;
- Registro automático dos testes de Poka Yoke no sistema MES;
- Atividades de testes de submontagens devem se imputadas no sistema imediatamente após a realização do teste;

- Realizar o *upload* de dados das medições realizadas no laboratório de metrologia para o sistema MES;
- Realizar o *upload* dos dados para o sistema MES de estações de trabalho consideradas críticas ao processo;
- Passagem de padrão nas estações com registros no sistema MES;
- Monitorar ferramentas de desgaste e realizar trocas preventivas.

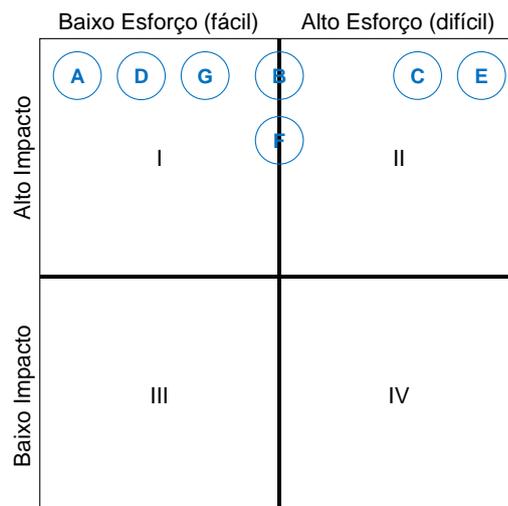
Todas essas melhorias estão em sintonia com o objetivo do projeto levantado na etapa 1 – digitalizar os dados da linha de montagem do *booster*, afim de que os dados de *setup* das estações de trabalho sejam registrados automaticamente e sejam livres de erros.

A digitalização e automatização do *setup* podem trazer diversas vantagens:

- Coleta de dados automática e com maior precisão;
- Redução do tempo de *setup*;
- Aumento do tempo útil do operador;
- Acesso remoto e em tempo real aos dados e informações;
- Tratamento de dados e geração de gráficos de tendência;
- Aumento da garantia de execução correta do processo;
- Aumento do controle de qualidade do processo.

5.2.3 Fase de avaliação

A fase de avaliação tem o objetivo de analisar a viabilidade da implementação da proposta de melhoria levantada. Essa avaliação foi realizada utilizando a matriz de Impacto X Esforço, que é baseada em uma grade composta por quatro áreas para distribuição das tarefas. Foi realizado um levantamento das tarefas a serem executadas e estas foram distribuídas pela matriz considerando o esforço, na horizontal, e o impacto, na vertical, para cada uma dessas tarefas. A Figura 19 ilustra como ficou a matriz impacto X esforço deste trabalho. A matriz ajuda a identificar quais ações trazem maiores resultado com menor esforço e, portanto, devem ser priorizadas.



- A - Padronização da frequência de testes;
 B - Registro automático dos testes de Poka Yoke no sistema MES;
 C - Atividades de testes de submontagens devem se imputadas no sistema imediatamente após a realização do teste;
 D - Realizar o *upload* de dados das medições realizadas no laboratório de metrologia para o sistema MES;
 E - Realizar o *upload* dos dados para o sistema MES de estações de trabalho consideradas críticas ao processo;
 F - Passagem de padrão nas estações com registros no sistema MES;
 G - Monitorar ferramentas de desgaste e realizar trocas preventivas.

Figura 19: Matriz impacto X esforço

As atividades do quadrante I são as que trazem maiores resultados com menores esforços. Já as atividades do quadrante II trazem resultados relevantes, porém são mais difíceis de serem executadas. Para este trabalho, as atividades que dependem dos esforços de terceiros foram classificadas no quadrante II, uma vez que dependem de orçamento.

5.2.4 Fase de criação de indicadores

Foram selecionados alguns indicadores para quantificar os ganhos obtidos com a implementação do projeto. O objetivo dessa fase era disponibilizar todas as informações necessárias sobre cada etapa do processo para que houvesse melhor compreensão dos resultados.

Os indicadores selecionados foram:

- Indicador de eficácia – identificar a relação entre os resultados obtidos e os resultados pretendidos para verificar se a implementação da melhoria alcançou o objetivo proposto;

- Indicador de produtividade – verificar a relação entre a quantidade de *booster* produzido e os recursos utilizados para avaliar se houve um aumento de produtividade na linha de montagem;
- Indicador de qualidade – relação entre todos os *boosters* que foram produzidos e os *boosters* produzidos sem defeitos ou inconformidades.

Com esses indicadores é possível monitorar as atividades e implementação da melhoria na linha de montagem. Dessa forma informações são coletadas e analisadas para que os dados sejam disponibilizados de forma clara para os gestores.

5.3 Etapa 3 – Aplicação / Resultados

A etapa 3 se deu através da implementação da digitalização dos dados da linha de montagem. Esta etapa demonstra a implementação e os resultados obtidos dessa aplicação.

5.3.1 Fase de análise da situação esperada

A fase de análise da situação esperada foi concretizada na etapa 2 quando foi realizada a classificação do estágio tecnológico da linha de montagem e o panorama futuro foi desenhado.

A análise da situação esperada também foi realizada com o auxílio da *Toolbox Industrie 4.0* [14] e está ilustrada pela Figura 20. Fazendo uma avaliação macro, pode-se perceber que não houveram grandes diferenças entre o estágio tecnológico atual e estágio tecnológico desejado. Porém, em uma escala micro, existem diversos critérios a serem melhorados dentro de uma das fases de cada estágio tecnológico desta caixa de ferramentas. Em relação a classificação anterior, houve uma mudança notável no primeiro item da caixa de ferramentas, referente ao processamento de dados na produção. Já nos outros itens, apesar de não ter havido avanço entre estágios, algumas melhorias foram planejadas. Os itens 3 – conectividade corporativa com a produção, e 6 – eficiência para pequenos lotes de produção, da caixa de ferramentas não foram discutidos pois não se aplicam ao escopo deste projeto.

Caixa de Ferramentas *Industrie 4.0*

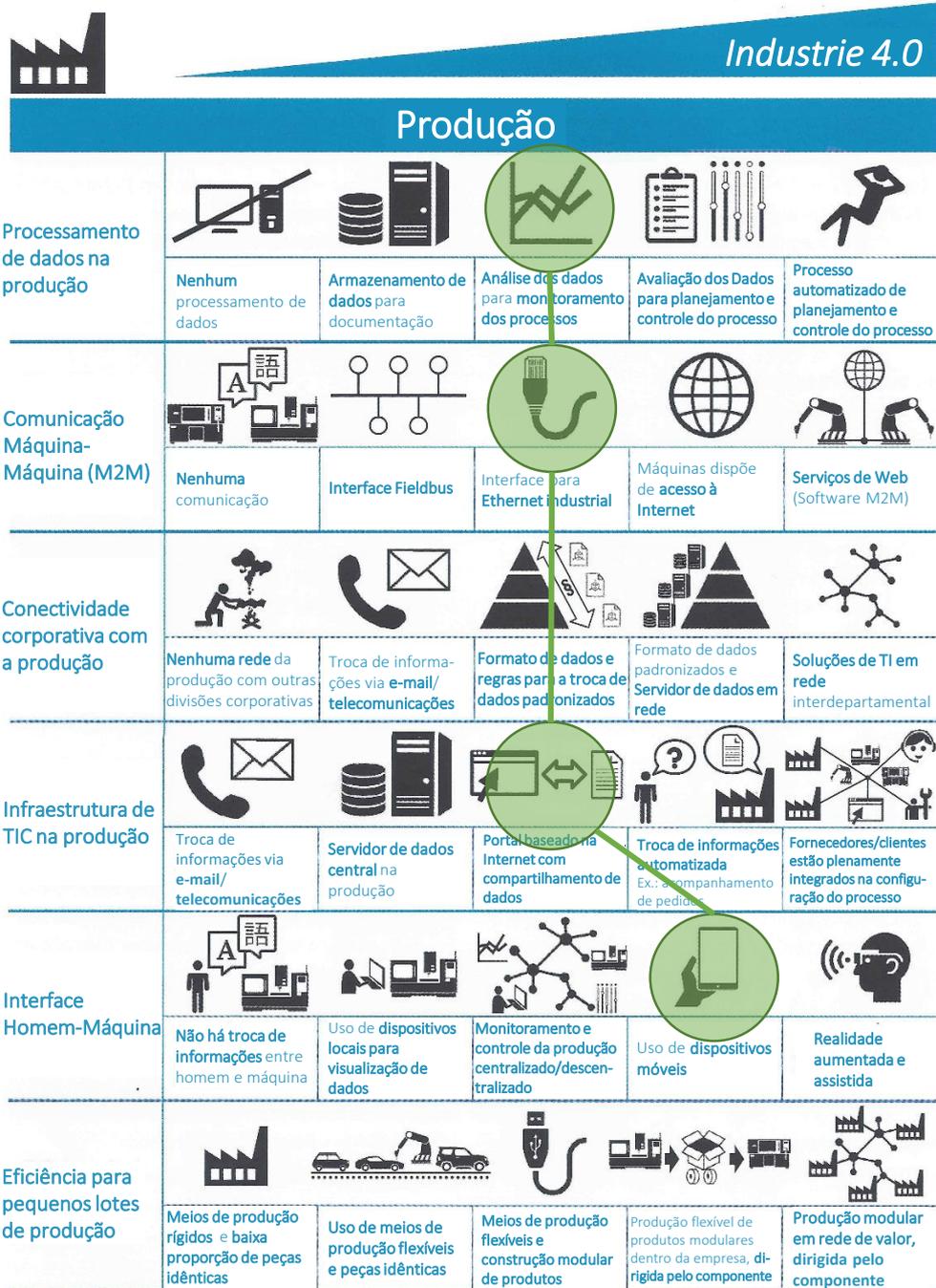


Figura 20: Definição do estágio tecnológico futuro almejado pela empresa

5.3.2 Fase da Implantação

Para que a melhoria identificada fosse implementada, foi importante o suporte e participação de líderes da organização. Esta fase também foi apoiada por uma empresa terceirizada responsável pelo desenvolvimento do MES da organização. Para que o objetivo de digitalizar os dados da linha de montagem fosse cumprido, a empresa terceirizada realizou três visitas na linha de montagem para coletar todos os requisitos e elaborar um cronograma de projeto junto ao time de projeto. Em uma primeira discussão foi acordado que a digitalização dos dados ocorreria em três estações de trabalho específicas e após a aplicação seria discutido se as outras estações de trabalho também seriam digitalizadas.

Foram instalados monitores às estações de trabalho. Em cada um desses monitores é possível se ter acesso ao passo a passo de todos os *setups* e verificações realizadas em cada estação de trabalho. Assim que um *setup* for iniciado, basta o operador selecionar a opção para que os dados do *setup* sejam coletados de forma digital.

Os monitores mostram detalhadamente como cada uma das verificações devem ocorrer e quais são suas tolerâncias. Caso a verificação aponte alguma não conformidade, a estação de trabalho trava e o processo da linha de montagem fica suspenso até que o líder verifique o que ocorreu. No caso de paradas, o líder deve reportar no próprio monitor o que ocorreu e qual foi o diagnóstico. Se a não conformidade for recorrente, surgem os alertas de qualidade, os quais são apontados previamente pelo monitor, mostrando quais ações o operador deve tomar ao se deparar com a não conformidade.

A instalação e configuração dos monitores na linha de montagem durou cinco meses até que a digitalização dos dados da linha de montagem estivesse programada e funcionando corretamente. Após a instalação dos monitores nas estações de trabalho um treinamento de 3 horas foi oferecido aos operadores para que estes pudessem se adaptar às novas tecnologias e utilizar a nova ferramenta de forma correta.

Com a instalação dos monitores foi possível verificar uma menor incidência de erros nas verificações e obter dados mais precisos para que diagnósticos e tendências fossem observadas.

5.3.3 Fase dos resultados e análise

No projeto em questão, as análises dos indicadores ainda não foram realizadas, porém é possível afirmar que os resultados indicam que o objetivo de digitalizar os dados da linha de montagem foi alcançado.

Apesar de não ter os resultados quantificados, uma entrevista não estruturada foi realizada com o líder de time, juntamente com o supervisor e com o gerente responsável pela linha de montagem. Dessa entrevista é possível afirmar que:

- Indicador de eficácia – os resultados obtidos da implementação da digitalização da linha de montagem respondem às expectativas dos resultados pretendidos no início do projeto. Dessa forma, é possível afirmar que a implementação da melhoria alcançou o objetivo proposto;
- Indicador de produtividade – com a digitalização dos dados da linha de montagem as atividades de *setup* e verificações ocorrem de forma mais rápida e livre de erros. Assim, ocorreu um ganho de tempo para a montagem do *booster*, o que ocasiona em maior quantidade de *booster* produzido e, conseqüentemente, aumento de produtividade na linha de montagem;
- Indicador de qualidade – a realização do *setup* e das verificações de forma digital torna os dados coletados mais confiáveis e livres de erros. Isso faz com que os erros diminuam e sejam produzidos mais *boosters* sem defeitos ou inconformidades.

É importante que o time de projeto esteja empenhado em coletar os resultados da implementação de projetos relacionados a *Indústria 4.0* através da análise dos indicadores para que seja possível realizar uma avaliação e melhorias possam ser sugeridas.

Apesar de a organização ainda não possuir os resultados quantificados, o *roadmap* já foi aplicado em outra área e planeja-se utilizá-lo em uma terceira aplicação de projeto relacionado ao tema *Indústria 4.0*. Com a aplicação do *roadmap* em outras áreas, melhorias em sua estrutura são notadas, o que auxilia para torná-lo ainda mais completo.

6 Considerações finais

Esta dissertação de mestrado assumiu como objetivo propor um *roadmap* para a digitalização de uma linha de montagem de forma a criar condições de implementar a tecnologia *Indústria 4.0* de forma eficiente.

Para isto, foram realizadas pesquisas em periódicos indexados e análises de relatórios de consultorias para que uma base de conhecimento sólido sobre o tema de pesquisa fosse constituída. Foram apresentados diversos conceitos relacionados à *Indústria 4.0* e pode-se inferir que todos eles relacionam o tema a uma mudança da fabricação automatizada para uma fabricação inteligente, totalmente interconectada, com máquinas e produtos interagindo autonomamente entre si.

Manter uma estrutura de pesquisa interna muitas vezes pode significar grandes investimentos para organizações, dessa forma a parceria com universidades pode ser vista como uma vantagem. Já para a universidade, a parceria é interessante para ampliar seu campo de pesquisa e desenvolver seus estudantes. Este trabalho desenvolveu-se através de parceria entre uma organização e um laboratório de pesquisa de uma instituição de ensino superior. A parceria foi fundamental para que a parte prática do trabalho fosse concretizada. O trabalho envolveu o desenvolvimento de uma proposta de *roadmap* para a digitalização dos dados de *setup* de uma linha de montagem da organização, que foi aplicado por uma equipe de projetos multidisciplinar.

Existe grande interesse por parte das organizações em implementarem iniciativas relacionadas ao tema *Indústria 4.0* em parceria com instituições de ensino, porém é importante que as atividades sejam muito bem definidas e esclarecidas entre os parceiros no que diz respeito aos atores do projeto. É necessário a participação da alta gerência no cumprimento da parceria e os acordos firmados devem ser esclarecidos para os facilitadores e para todo o time de projeto para que o mesmo tenha um andamento sem interrupções. Além disso, é preciso que detalhes relacionados ao tempo do projeto estejam bem definidos e alinhados, uma vez que o estudante de mestrado dispõe de 24 meses para finalizar o seu trabalho.

Conclui-se que a parceria entre universidade e organização é importante por conectar conhecimentos técnicos e teóricos em um mesmo ambiente, facilitando a aprendizagem e a resolução de problemas.

Deste estudo é possível afirmar que o *roadmap* pode ser utilizado para aplicações em outras áreas organizacionais ou até mesmo servir como base para o desenvolvimento de outros projetos na área da *Indústria 4.0*. Espera-se que os resultados também ajudem outras organizações a projetarem soluções relacionadas ao tema.

Este trabalho também se demonstrou útil por preencher a lacuna entre a teoria e a prática por trazer resultados tanto para a área da pesquisa quanto para a organização. Dessa forma, a questão de pesquisa pôde ser respondida através da aplicação da proposta de *roadmap*.

Para a academia, esta pesquisa se demonstra de grande importância por se tratar de um tema relativamente recente e desafiador quando se analisa o cenário brasileiro. Poder aplicar os conhecimentos teóricos em uma multinacional abre espaço para que surjam novas visões em relação à pesquisa. Para a organização, firmar parceria com uma instituição de ensino demonstrou a oportunidade de aplicar projetos sobre temas recentes e desafiadores, além de identificar uma melhoria e aplicar ações para executá-la.

Um dos maiores desafios deste trabalho foi conciliar as expectativas entre os pesquisadores e a organização. No entanto, considerando o trabalho como um todo, esse desafio foi superado, uma vez que o *roadmap* foi aplicado e seus resultados coletados.

Por fim, esta dissertação representa uma contribuição para os conhecimentos relacionados a *Indústria 4.0* e sua aplicação. Dada a relevância do tema ainda existe muito o que se investigar e há um grande campo onde as tecnologias podem atuar. Dessa forma, recomenda-se que trabalhos futuros sejam realizados no mesmo sentido do objetivo desta dissertação.

6.1 Trabalhos futuros

O *roadmap* proposto possui oportunidades de melhoria e ajustes ainda podem ser realizados no sentido de torná-lo mais completo. A partir de sua aplicação e análises junto ao time de projetos, é possível considerar pontos a serem executados e pontos a serem excluídos.

Para o objeto de estudo deste trabalho, além do *setup*, existe a possibilidade de otimizar o processo de montagem como um todo através de um *Big Data* alimentado com dados mais precisos. O acompanhamento destes dados do processo em tempo real pode resultar na otimização do controle do processo, garantindo qualidade e confiabilidade. Outra possibilidade de melhoria com *Big Data* é a análise inteligente de dados, que oferece um sistema de auxílio otimizado para tomada de decisões. Contudo, existem alguns desafios a serem vencidos devido a implementação de um novo sistema, como custos de implementação, capacitação de funcionários, segurança de informações, estabilidade do sistema e dependência de suporte de TI.

Outros trabalhos relacionados ao tema devem abordar todas as etapas de gerenciamento de projetos para que o *roadmap* se torne mais robusto e responda a todas as limitações da organização. É importante que a gestão dos dados coletados na linha de montagem seja clara e de fácil acesso pela alta gerência para que análises e diagnósticos possam ser realizados sem maiores problemas. Além disso, deve se ter cautela ao realizar a seleção dos indicadores e, ao final da implementação da melhoria, os indicadores devem ser analisados para o cálculo dos retornos do projeto. Tendo esses retornos calculados será possível demonstrar em números os ganhos relacionados à implementação de um projeto de *Indústria 4.0*.

7 Bibliografia

- /1/ DAVIS, J. et al. Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance. *Computers and Chemical Engineering*, v. 47, p. 145–156, Julho 2012. ISSN <http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2012.06.037>.
- /2/ GLIGOR, D. M.; HOLCOMB, M. C. Understanding the role of logistics capabilities in achieving supply chain agility: a systematic literature review. *Supply Chain Management: An International Journal*, v. 17, n. 4, p. 438-453, 2012. ISSN <https://doi.org/10.1108/13598541211246594>.
- /3/ ZHONG, R. Y. et al. Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering*, v. 3, p. 616–630, Outubro 2017. ISSN <http://dx.doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>.
- /4/ DURÃO, L. F. C. S. et al. Additive manufacturing scenarios for distributed production of spare parts. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 93, p. 869–880, Maio 2017. ISSN <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0555-z>.
- /5/ BRETTEL, M. et al. How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, v. 8, n. 1, p. 37-44, 2014. ISSN 1999.8/9997144.
- /6/ DEPARTAMENTO DE PESQUISAS E ESTUDOS ECONÔMICOS - DEPECON. *Panorama da Indústria de Transformação Brasileira*. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. p. 1-55. 2016.
- /7/ ANDERL, R. Industrie 4.0 - Digital Transformation in Product Engineering. 21^o *Seminário Internacional de Alta Tecnologia*, 21, n. 1, 2016. 3-17.
- /8/ KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0: Final Report of the Industrie 4.0 Working Group*. ACATECH. Frankfurt, p. 13-78. 2013.
- /9/ BLANCHET, M. et al. *Industry 4.0 - The new Industrial Revolution. How Europe will Succeed*. Roland Berger Strategy Consultants. p. 1-24. 2014.

- /10/ SCHAUPP, E.; ABELE, E.; METTERNICH, J. Potentials of digitalization in tool management. *Procedia CIRP* 63, 2017. 144-149.
- /11/ PRICEWATERHOUSECOOPERS BRASIL LTDA. *Indústria 4.0: Digitização como Vantagem Competitiva no Brasil*. PWC Brasil. p. 1-36. 2016.
- /12/ MARIO, H.; TOBIAS, P.; BORIS, O. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. *49th Hawaii International Conference on System Sciences*, 2016.
- /13/ HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. *Proceedings of 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, 2016. 3928-3937.
- /14/ ANDERL, R.; FLEISCHER, J. *Guideline Industrie 4.0 - Guiding principles for the implementation of Industrie 4.0 in small and medium sized businesses*. VDMA & partners. p. 30. 2016. (978-3-8163-0687-0).
- /15/ BAGHERI, B. et al. Cyber-physical Systems Architecture for Self-Aware Machines in Industry 4.0 Environment. *International Federation of Automatic Control (IFAC)*, 48, n. 3, 2015. 1622–1627.
- /16/ OESTERREICH, T. D.; TEUTEBERG, F. Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in Industry*, v. 83, p. 121–139, 2016. ISSN <http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>.
- /17/ KHAN, A.; TUROWSKI, K. A Perspective on Industry 4.0: From Challenges to Opportunities in Production Systems. *Proceedings of the International Conference on Internet of Things and Big Data*, 2016. 441-448.
- /18/ THOBEN, K.-D.; WIESNER, S.; WUEST, T. “Industrie 4.0” and Smart Manufacturing – A Review of Research Issues and Application Examples. *International Journal of Automation Technology*, v. 11, n. 1, p. 4-16, Janeiro 2017. ISSN 10.20965/ijat.2017.p0004.
- /19/ SOKOLOV, B.; IVANOV, D. Integrated Scheduling of Material Flows and Information Services in Industry 4.0 Supply Networks. *International Federation of Automatic Control (IFAC)*, v. 48, n. 3, p. 1533-1538, 2015. ISSN 10.1016/j.ifacol.2015.06.304.

- /20/ WEYER, S. et al. Towards Industry 4.0 - Standardization as the Crucial Challenge for Highly Modular, Multi-vendor Production Systems. *International Federation of Automatic Control (IFAC)*, v. 48, n. 3, p. 579-584, Agosto 2015. ISSN 10.1016/j.ifacol.2015.06.143.
- /21/ ANDERL, R. Industrie 4.0: Advanced Engineering of Smart Products and Smart Production. *Seminário Internacional de Alta Tecnologia*, 19, 2014. 3-16.
- /22/ DRATH, R.; HORCH, A. Industrie 4.0: Hit or Hype? *IEEE Industrial Electronics Magazin*, v. 8, n. 2, p. 56-58, Junho 2014. ISSN 10.1109/MIE.2014.2312079.
- /23/ KAGERMANN, H. Change Through Digitization - Value Creation in the Age of Industry 4.0. *Management of Permanent Change*, Wiesbaden, p. 23-45, Dezembro 2015. ISSN 10.1007/978-3-658-05014-6_2.
- /24/ KAGERMANN, H. Chancen von Industrie 4.0 nutzen. *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*, Wiesbaden, p. 603-614, Abril 2014. ISSN 10.1007/978-3-658-04682-8_31.
- /25/ KEMPF, D. *Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland*. BITKOM. p. 43. 2014.
- /26/ LEE, E. A. Cyber Physical Systems: Design Challenges. *11th IEEE Symposium on Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC)*, 2008. 363-369.
- /27/ IVANOV, D.; SOKOLOV, B.; IVANOVA, M. SCHEDULE COORDINATION IN CYBER-PHYSICAL SUPPLY NETWORKS INDUSTRY 4.0. *International Federation of Automatic Control (IFAC)*, v. 49, n. 12, p. 839–844, 2016. ISSN 10.1016/j.ifacol.2016.07.879.
- /28/ ZHUGE, H. Semantic linking through spaces for cyber-physical-socio intelligence: A methodology. *Artificial Intelligence*, v. 175, p. 988–1019, Março 2011. ISSN 10.1016/j.artint.2010.09.009.
- /29/ SEOK, H.; NOF, S. Y.; FILIP, F. G. Sustainability decision support system based on collaborative control theory. *Annual Reviews in Control*, v. 36, p. 85–100, 2012. ISSN <http://dx.doi.org/10.1016/j.arcontrol.2012.03.007>.

- /30/ KIM, K.-D.; KUMAR, P. R. Cyber–Physical Systems: A Perspective at the Centennial. *Proceedings of the IEEE*, 100, 2012. 1287-1308.
- /31/ RAJKUMAR, R. et al. Cyber-Physical Systems: The Next Computing Revolution. *Proceedings of Design Automation Conference*, 2010. 731-736.
- /32/ POOVENDRAN, R. Cyber–Physical Systems: Close Encounters Between Two Parallel Worlds. *Proceedings of the IEEE*, 98, n. 8, 2010. 1363-1366.
- /33/ SCHUH, G. et al. Short-term cyber-physical Production Management. *Procedia CIRP* 25, 2014. 154-160.
- /34/ TANG, D. et al. Using Autonomous Intelligence to Build a Smart Shop Floor. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Maio 2017. ISSN 10.1007/s00170-017-0459-y.
- /35/ FRANCALANZA, E.; BORG, J.; CONSTANTINESCU, C. A knowledge-based tool for designing cyber physical production systems. *Computers in Industry*, v. 84, p. 39-58, Janeiro 2017. ISSN <http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2016.08.001>.
- /36/ BERGWELER, S. Intelligent Manufacturing based on Self-Monitoring Cyber-Physical Systems. *The 9th International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies*, 2015. 108-113.
- /37/ GUBBI, J. et al. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, v. 29, p. 1645–1660, Fevereiro 2013. ISSN <http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>.
- /38/ ATZORI, L.; IERAB, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, v. 54, n. 15, p. 2787-2805, Outubro 2010. ISSN <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>.
- /39/ HALLER, S. The Things in the Internet of Things. *Proceeding of IEEE Explore*, 2010.
- /40/ CASAGRAS. *RFID and the Inclusive Model for the Internet of Things*. Coordination and Support Action for Global RFID-related Activities and Standardisation. p. 1-88. 2009.
- /41/ [EPOSS], E. T. P. O. S. S. I. Internet of things in 2020, report of Beyond RFID - the Internet of Things, joint EU-EPoSS workshop, Brussels, 2008. Disponivel em:

<<http://www.smart-systems-integration.org/public/internet-of-things>>. Acesso em: Dezembro 2015.

- /42/ MUELLER, E.; CHEN, X.-L.; RIEDEL, R. Challenges and Requirements for the Application of Industry 4.0: A Special Insight with the Usage of Cyber-Physical System. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, v. 30, n. 5, p. 1050–1057, Setembro 2017. ISSN DOI 10.1007/s10033-017-0164-7.
- /43/ BUXMANN, P.; HESS, T.; RUGGABER, R. Internet of Services. *Business & Information Systems Engineering*, p. 341-342, 2009. ISSN DOI 10.1007/s12599-009-0066-z.
- /44/ WANG, S. et al. Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. *The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, v. 101, p. 158–168, Janeiro 2016. ISSN <http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2015.12.017>.
- /45/ LUCKE, D.; CONSTANTINESCU, C. L.; WESTKÄMPER, E. Smart Factory - A Step towards the Next Generation of Manufacturing. *Proceedings of 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 2005. 115-118.
- /46/ DELOITTE. *The Smart Factory - Responsive, Adaptive, Connected Manufacturing*. Deloitte. p. 1-20. 2017.
- /47/ DURÃO, L. F. C. S. et al. Development of a Smart Assembly Data Model. *Product Lifecycle Management and the Industry of the Future*, 2017. 655-666.
- /48/ AITENBICHLER, E. et al. Engineering Intuitive and SelfExplanatory. *Proceedings of the 2007 ACM Symposium on Applied Computing*, 2007. 1632-1637.
- /49/ RIJSDIJK, S. A.; HULTINK, E. J. How Today's Consumers Perceive Tomorrow's Smart Products. *Journal of Product Innovation Management*, p. 24-42, 2009.
- /50/ MICHE, M.; SCHREIBER, D.; HARTMANN, M. Core Services for Smart Products.
- /51/ SMARTFACTORYKL. Disponível em: <<http://smartfactory.de/>>. Acesso em: 06 Setembro 2017.

- /52/ SANTOS, M. Y. et al. A Big Data System Supporting Bosch Braga Industry 4.0 Strategy. *International Journal of Information Management*, v. 37, p. 750-760, Agosto 2017. ISSN 0268-4012.
- /53/ ANDERL, R. Industrie 4.0 – Fundamentals, Scenarios for Application and Strategies for Implementation. *4º Diálogo Brasil-Alemanha de Ciência, Pesquisa e Inovação*, 2015.
- /54/ SHAFIQ, S. I. et al. Virtual Engineering Object / Virtual Engineering Process: A Specialized form of Cyber Physical System for Industrie 4.0. *Procedia Computer Science* 60, 2015. 1146 – 1155.
- /55/ GEISSBAUER, R. et al. *Industry 4.0 - Opportunities and Challenges of the Industrial Internet*. PricewaterhouseCoopers. p. 1-52. 2014.
- /56/ SACEY, S. M.; BESTER, A. INDUSTRIAL ENGINEERING CURRICULUM IN INDUSTRY 4.0 IN A SOUTH AFRICAN CONTEXT. *South African Journal of Industrial Engineering*, v. 27, n. 4, p. 101-114, Dezembro 2016. ISSN <http://dx.doi.org/10.7166/27-4-1579>.
- /57/ TRIPP, D. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. *Educação e Pesquisa*, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 443-466, 2005. ISSN 1678-4694.
- /58/ MELLO, C. H. P. et al. Pesquisa-ação na engenharia de produção: proposta de estruturação para sua condução. *Production Journal*, v. 22, n. 1, p. 1-13, Janeiro 2012. ISSN 10.1590/S0103-65132011005000056.
- /59/ THIOLENT, M. *Metodologia da pesquisa-ação*. 15. ed. São Paulo: Cortez, 2007.
- /60/ NAPPI, V. *Framework para Desenvolver um Sistema de Medição de Desempenho para PLM (Product Lifecycle Management) com Indicadores de Sustentabilidade*. Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, p. 35. 2014.
- /61/ ORTRUN ZUBER-SKERRITT, C. P. Action research within organisations and university thesis writing. *The Learning Organization*, v. 9, n. 4, p. 171-179, 2002. ISSN <https://doi.org/10.1108/09696470210428895>.
- /62/ PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. *PMI. Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos*. 5ª. ed. 2013.

- /63/ TANG, H.-H.; HSIAO, E. The advantages and disadvantages of multidisciplinary collaboration in design education, 2013. 1-10.
- /64/ STEMPFLE, J.; BADKE-SCHAUB, P. Thinking in design teams - an analysis of team communication. *Proceedings of Design Studies*, 23, n. 5, 2004. 473-496.
- /65/ OTTOBONI, C.; PAGNI, T. E. M. A importância do mapeamento de processos para a implementação do Balanced Scorecard. *Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 2003. 1-8.
- /66/ SARTORI, D. et al. *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects - Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020*. European Commission. 2014. (10.2776/97516).
- /67/ KERNAGHAN, S. Technical Feasibility Assessments. *ISET – International*, 2012.
- /68/ KAPLAN, R.; NORTON, D. *A estratégia em ação: balanced scorecard*. 4. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1997.
- /69/ DAVENPORT, T. H. *Process innovation: reengineering work*. Boston: Harvard Business Press, 1993.
- /70/ SAWY, O. A. E. *Redesigning enterprise processes for e-business*. [S.l.]: McGraw-Hill Irwin, 2001.
- /71/ KETTINGER, W. J.; TENG, J. T. C.; GUHA, S. Business Process Change: A Study of Methodologies, Techniques, and Tools. *Management Information Systems Quarterly*, v. 21, n. 1, p. 55-80, Março 1997.
- /72/ KELECKAITE, M.; MEILIENE, E. The Importance of Project Management Methodologies and Tools in Non-Governmental Organizations: Case Study of Lithuania and Germany. *PM World Journal*, n. 2, p. 1-17, Julho 2011.