

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE  
PRODUÇÃO**

**COMO O CONTROLE DE TORQUE, INTEGRADO AO SISTEMA MES XGAAT, E  
TORQUÍMETROS WIRELESS, CONTROLADORAS E PONTEIRAS, CONTRIBUIRÃO  
PARA A DIMINUIÇÃO DO FPM, NO CHÃO DE FABRICA? UM ESTUDO DE CASO À  
LUZ DA INDUSTRIA 4.0**

**Rodrigo Pereira da Costa**

**CATALÃO, GO  
2019**

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR  
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES  
NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico:     Dissertação     Tese

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

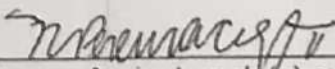
Nome completo do autor: Rodrigo Pereira da Costa

Título do trabalho: COMO O CONTROLE DE TORQUE, INTEGRADO AO SISTEMA MES XGAAT E TORQUÍMETROS WIRELESS, CONTROLADORAS E PONTEIRAS, CONTRIBUIRÃO PARA A DIMINUIÇÃO DO FPM, NO CHÃO DE FÁBRICA? UM ESTUDO DE CASO À LUZ DA INDÚSTRIA 4.0

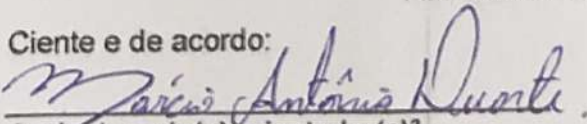
3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento  SIM     NÃO<sup>1</sup>

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.

  
Assinatura do(a) autor(a)<sup>2</sup>

Ciente e de acordo:

  
Assinatura do(a) orientador(a)<sup>2</sup>

Data: 08/10/19

<sup>1</sup> Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

<sup>2</sup> A assinatura deve ser escaneada.

**COMO O CONTROLE DE TORQUE, INTEGRADO AO SISTEMA MES XGAAT, E TORQUÍMETROS WIRELESS, CONTROLADORAS E PONTEIRAS, CONTRIBUIRÃO PARA A DIMINUIÇÃO DO FPM, NO CHÃO DE FABRICA? UM ESTUDO DE CASO À LUZ DA INDUSTRIA 4.0**

**RODRIGO PEREIRA DA COSTA**

**Dissertação** apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Goiás, como parte dos requisitos para obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**.

Área de Concentração: Engenharia de Operações e Processos Industriais

**Orientador:** Prof. Dr. Márcio Antônio Duarte

**CATALÃO, GO**

**2019**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Pereira da Costa, Rodrigo

Como o Controle de Torque, integrado ao sistema MES XGAAT, e torquímetros wireless, controladoras e ponteiras, contribuirão para a diminuição do fpm, no chão de fábrica? Um estudo de caso à luz da indústria 4.0 [manuscrito] / Rodrigo Pereira da Costa. - 2019.

LXXXV, 85 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Antônio Duarte.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Unidade Acadêmica Especial de Engenharia e Administração, Catalão, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Catalão, 2019.

Inclui siglas, abreviaturas, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Indústria 4.0. 2. Internet das Coisas (IoT). 3. MES XGAAT. 4. Controle de Torque. 5. Torquímetros Wireless. I. Antônio Duarte, Márcio, orient. II. Título.

CDU 658.5

**FENG**

UAE de Engenharia



Serviço Público Federal

Universidade Federal de Goiás – UFG

Regional Catalão – RC

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

**ATA DA SESSÃO DE JULGAMENTO DA DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE RODRIGO PEREIRA DA COSTA**

Ata nº 010 da sessão de Defesa de Dissertação de **RODRIGO PEREIRA DA COSTA**, que confere o título de Mestre em **ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, na área de concentração em **ENGENHARIA DE OPERAÇÕES E PROCESSOS INDUSTRIAIS**.

Ao/s treze dias do mês de setembro do ano de dois mil e dezenove, a partir da(s) 14h, na sala do mestrado em Engenharia de Produção da Unidade Acadêmica Especial de Engenharia, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada **“COMO O CONTROLE DE TORQUE, INTEGRADO AO SISTEMA MES XGAAT E ÀS FERRAMENTAS INTELIGENTES, CONTRIBUÍRÃO PARA A DIMINUIÇÃO DO FPM, NO CHÃO DE FÁBRICA? UM ESTUDO DE CASO À LUZ DA INDÚSTRIA 4.0”**. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor **MÁRCIO ANTÔNIO DUARTE (PPGEP)** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professora Doutora **NÚBIA ROSA DA SILVA GUIMARÃES (PPGEP)**, membro titular interno; Professora Doutora **LUCIANA CARVALHO (PPGA/FAGEN/UFU)**, membro titular externo. Durante a arguição os membros da banca fizeram sugestão de alteração do título do trabalho **inserir as ferramentas específicas do estudo de caso**. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor **MÁRCIO ANTÔNIO DUARTE**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos treze dias do mês de setembro de dois mil e dezenove.

**TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA: “COMO O CONTROLE DE TORQUE, INTEGRADO AO SISTEMA MES XGAAT E TORQUÍMETROS WIRELESS, CONTROLADORAS E PONTEIRAS, CONTRIBUÍRÃO PARA A DIMINUIÇÃO DO FPM, NO CHÃO DE FÁBRICA? UM ESTUDO DE CASO À LUZ DA INDÚSTRIA 4.0”**

Prof. Dr. Márcio Antônio Duarte –  
Aprovado (X) Reprovado ( )

Ass. Márcio Antônio Duarte

Prof. Drª. Núbia Rosa da Silva Guimarães –  
Aprovado ( ) Reprovado ( )

Ass. Núbia Rosa da Silva Guimarães

Prof. Drª. Luciana Carvalho –  
Aprovado (X) Reprovado ( )

Ass. Luciana Carvalho

Obs.: \_\_\_\_\_

**Presidente da Banca – Prof. Dr. Márcio Antônio Duarte**– Ass. Márcio Antônio Duarte**Resultado final:**

APROVADO (X) REPROVADO ( )

Reaberta a Sessão Pública, o Presidente da Banca Examinadora proclamou o resultado e encerrou a Sessão, da qual foi lavrada a presente Ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora, pelo Mestrando examinado e pela Secretária do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – RC/UFG.

Assinatura do Mestrando Rodrigo Pereira da CostaSecretaria do PPGEP-RC/UFG Bruna Liza G. Ferreira

Obs: O(a) aluno(a) deverá encaminhar, no prazo de até 30 (trinta) dias, a contar da data da Defesa Pública, os exemplares definitivos da Dissertação, para arquivamento e devidos encaminhamentos, conforme as normas definidas pelo PPGEP-RC/UFG

Av. Lamartine P. Avelar, 1.120. Setor Universitário- Catalão (GO) CEP – 75704 020 Fone/fax: (64) 3441-5376.  
E-mail: ppgep.secretaria@gmail.com

*Aos meus queridos pais Lindinalva e Leonidio (in memoriam), os quais são indubitavelmente os meus maiores Mestres, Exemplos e Incentivadores. Por meio de sua Simplicidade e Sabedoria contribuíram ativamente para que pudesse, desde muito cedo a: perceber, compreender e a valorizar os Mestres, o Ensino, o Aprendizado e o ambiente Acadêmico. Dedico também a todos os Mestres que fizeram parte de minha formação acadêmica, os quais me ajudaram na composição e modelagem, do meu caráter como ser humano, cidadão e profissional.*

## **Agradecimentos**

A Deus, pela proteção divina, por minha saúde, discernimento, inteligência e sabedoria. Aos meus irmãos: Daniela, Eliane, José e à minha querida e amada tia Maria Gomes dos Santos, pelo suporte e incentivos, durante a realização minha primeira graduação. Ao meu orientador e professor Dr. Márcio Antônio Duarte, pela gentileza em ceder parte de seus preciosos conhecimento e tempo para o desenvolvimento deste projeto, tão bem como para a composição dessa dissertação de Mestrado. Ao meu primo Júlio Costa, pioneiro em nossa família ao ter o 1º Diploma Universitário em umas das mais renomadas e prestigiadas instituições de ensino de São Paulo, fato esse que corroborou para que ele fosse uma referência em nosso núcleo familiar. À XGreen S/A, nas pessoas do Gerentes de RH, o Sr. Lucas Paula, e do Gerente da Engenharia de Manufatura, Sr. Eudes Correia, tão bem como dos Supervisores da Engenharia de Manufatura, os Srs. Aguinaldo Rodrigues, Kildare Costa e Rodrigo Rodrigues, respectivamente, os quais foram grandes incentivadores, além de terem atuado como facilitares para que conseguisse concluir o meu Mestrado acadêmico em Engenharia de Produção no âmbito Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão (UFG-RC). À UFG-RC, pelo privilégio concedido a mim, em fazer parte do seu corpo de discentes. Faculdade esta, reconhecida como uma das universidades Públicas mais prestigiadas, em função de sua Tradição e Excelência no Ensino & Pesquisa, tão bem como pelo alto nível do seu corpo docente. Aos Srs. Professores Doutores pertencentes, a esta banca que, gentilmente, aceitaram o convite para fazerem parte de minha arguição. Sem dúvidas, a contribuição provida por eles, por meio de seus conhecimentos, correções e sugestões, foram cruciais para a estruturação, solidificação e concatenação deste Projeto de Pesquisa. Ao meu grande amigo e colega de trabalho, Bruno Gimenez Paiva, pela assessoria técnica e incentivos pessoais para a conclusão deste Estudo. Agradeço pelas contribuições técnicas e suporte, ofertado pelos profissionais Bruno Galvão, Eduardo Pereira, Claudinei Ferreira e Fernando Oliveira, oriundos da XGreen S/A. Aos meus Amigos e colegas do Mestrado, em especial à Karine Jesus, à Karla Melissa Leandro, à Janice, à Luciana Melo e ao Leandro Ramaldes. Aos demais professores da UFG que, direta ou indiretamente ajudaram-me na estruturação, desenvolvimento e conclusão desta dissertação de Mestrado.

*If the rate of change on the outside exceeds the rate of change on the inside, the end is near; If you do not have a competitive advantage, do not compete". (Jack Welch)*

**COSTA, R.P. Como o Controle de Torque, advindo da implementação do sistema MES XGAAT, dos torquímetros wireless, das controladoras e ferramentais (ponteiras), contribuirão para a diminuição do indicador FPM, no chão de fábrica? Um estudo de caso, na era da Indústria 4.0.** 83p. Dissertação de Mestrado , Universidade Federal de Goiás, Catalão, GO. 2019.

## **RESUMO**

As empresas manufatureiras enfrentam constantemente o desafio de aumentar a produtividade, reduzir os custos de retrabalho e alcançar rápidos aumentos de produção. A pressão para manter os custos produtivos sob controle, é intensa. Ter falhas e má qualidade no processo produtivo é extremamente oneroso e prejudicial à competitividade dessas empresas. Diante desse contexto, foi proposto um estudo de caso Quantitativo e Qualitativo, na linha de montagem dos pulverizadores autopropelidos, da XGreen S/A, a fim de se reduzir o percentual dos indicadores de Falhas por Máquinas (FPM), tão bem como o de promover o aumento e manutenção dos níveis da qualidade distinta, na referida linha de produto. Para tanto, fez-se uso da implementação das ferramentas inteligentes (controladoras, torquímetros Wireless, ponteiras e do Sistema de Execução de Manufatura MES XGAAT (X Green Assembly Assist Tool), os quais correspondem à materialização dos conceitos da Indústria 4.0, no chão de fábrica da XGreen S/A. Em suma, almejou-se por meio desse estudo, promover uma diminuição do FPM, melhorar a rastreabilidade de processos, o controle de torque e melhorar os níveis da qualidade distinta, na linha de montagem dos pulverizadores da XGreen S/A. Embora a implantação do sistema MES XGAAT e das ferramentas inteligentes, tenham sido implementados de maneira conservadora, os relatórios trimestrais da área de Qualidade, apresentaram uma melhora nos indicadores da Produção e uma redução de 27% nos índices de falhas por máquinas (FPM), o qual era o objetivo deste projeto de Pesquisa.

Palavras-chaves: Indústria 4.0, Internet das Coisas (IoT), MES XGAAT, Controle de Torque, Torquímetros Wireless, Controladoras, Ferramentais.

**COSTA, R.P. How will Torque Control, integrated with the MES XGAAT system, and wireless torque wrenches, controllers and tips, contribute to lower fpm on the shop floor? A case study in light of industry 4.0.** 83 p. Master Dissertation. Federal University of Goiás. Catalão, GO. 2019.

## **ABSTRACT**

Industrial manufacturing companies are constantly faced with the challenge of increasing productivity, reducing rework costs and achieving rapid increases in production. The pressure, to keep production costs under control, is intense. Failure and poor quality in the production process is extremely dangerous to the competitiveness of manufacturing industries. According this context, it was purposed a Quantitative and a Qualitative case study at XGreen S/A assembly line of sprayers self-propelled. The study has got the proposal to verify the feasibility and the possibility to stablish a distinguished Quality in this product line, through the implementation of the intelligent tools: wireless torque wrenches, toolings (devices) and MES XGAAT (Manufacturing Execution System - X Green Assembly Assist Tool), which correspond to the materialization of Industry 4.0 concepts, within the scope of XGreen S/A. In short, it is expected through this study can itself to promote a reduction of Failure Per Machines (FPM), to improve the process traceability, the torque control as well as the Distinct Quality, in the assembly line of the sprayers from XGreen company. Although the implementation of the MES XGAAT system and the intelligent tools have been done into a conservative way, the quarterly reports from the Quality team suggest a considerable improvement regarding the Production indicators. The quarterly reports from Quality team have showed an improvement related to the Production´s indicators and a reduction of 27% in the Failures Per Machine (FPM), which was the main goal of this research project.

**Keywords:** Industry4.0, Internet of Things (IoT), MESXGAAT, Torque Control, Wireless Torque Wrenches, Controllers, Toolings.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Modelo estrutural de uma fábrica inteligente. . . . .	18
Figura 2.1 – Evolução do tema de estudo. . . . .	23
Figura 2.2 – Percentual de publicações x fonte de pesquisa. . . . .	23
Figura 2.3 – Percentual de publicações x áreas de interesse . . . . .	24
Figura 2.4 – Principais autores x quantidade de publicações . . . . .	24
Figura 2.5 – Países líderes x quantidade de publicações . . . . .	25
Figura 2.6 – Mapeamento dos vazamentos na linha de Montagem dos pulverizadores autopropelidos	31
Figura 2.7 – Ferramentas Inteligentes . . . . .	36
Figura 2.8 – Modelo de uma Instrução de Trabalho, da Montagem. . . . .	37
Figura 2.9 – Estratégia Macro das implementações. . . . .	39
Figura 3.1 – Fábrica Inteligente da Siemens em Amberg, Alemanha. . . . .	42
Figura 3.2 – As revoluções industriais ao longo do tempo. . . . .	43
Figura 3.3 – Tecnologias da Indústria 4.0 e campos relacionados . . . . .	49
Figura 3.4 – Novos tipos de tecnologias atreladas a Indústria 4.0 . . . . .	52
Figura 3.5 – Evolução da tecnologia de rotulagem industrial . . . . .	54
Figura 3.6 – Tela de Rastreo, para um dado produto, item e ou componente, conforme mostrado na coluna “ <b>Assembly</b> ” e “ <b>Name Posfix</b> ”. . . . .	58
Figura 3.7 – Distribuição das bmcs listadas no DAkKS para calibração dos torquímetros de clique, de acordo com a norma ISO 6789. . . . .	61
Figura 4.1 – Custos Garantia dos Pulverizadores: curva atual e com tendência descendente. . . . .	63
Figura 4.2 – Indicadores FPM e IPQ dos Pulverizadores: curva atualizada e com tendência des- cendente para o IPQ. . . . .	64
Figura 4.3 – Indicador IPQ dos Pulverizadores modelos PV01 e PV02: gráfico referente à fase inicial do projeto piloto em 2017. . . . .	64
Figura 4.4 – Fluxograma: Plano de Implementação do Projeto-piloto . . . . .	65
Figura 4.5 – Quantidade de Torques realizados nos postos de controle . . . . .	65
Figura 4.6 – PM50: Primeiro Período de Análises . . . . .	66
Figura 4.7 – PM50: Segundo Período de Análises . . . . .	67
Figura 4.8 – PM52: Primeiro Período de Análises . . . . .	67
Figura 4.9 – PM52: Segundo Período de Análises . . . . .	68
Figura 4.10 – PM53: Primeiro Período de Análises . . . . .	68
Figura 4.11 – PM53: Segundo Período de Análises . . . . .	69

Figura 4.12 –PMJ: Primeiro Período de Análises . . . . .	69
Figura 4.13 –PM5J: Segundo Período de Análises . . . . .	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Métodos, requisitos e características principais . . . . .	27
Tabela 2.2 – Mapeamento das atividades efetuadas . . . . .	29
Tabela 2.3 – Mapeamento dos torques críticos por componentes, estação de montagem e torques críticos . . . . .	32
Tabela 2.4 – Mapeamento dos torques críticos por componentes, estação de montagem e torques críticos . . . . .	33
Tabela 2.5 – Especificação das ferramentas inteligentes . . . . .	34
Tabela 2.6 – Especificação das ferramentas inteligentes . . . . .	35
Tabela 2.7 – Especificação das ferramentas inteligentes . . . . .	35
Tabela 2.8 – Exemplos de programações feitas nos controladores do sistema MES XGAAT . . . . .	38
Tabela 3.1 – Conceitos e significados tendo como contexto a Indústria 4.0 . . . . .	47
Tabela 4.1 – Especificação das ferramentas inteligentes . . . . .	66
Tabela 4.2 – Variações de falhas por postos de montagem . . . . .	71
Tabela 4.3 – Variações do IPQ modelos de pulverizadores . . . . .	71

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

XGAAT — X Green Assembly-Assist Tool

AGVs — Automated Guided Vehicle

AR — Augmented Reality

CPSs — cyber-physical system

DAG — Directed Acyclic Graph

DPM — Defeitos por Máquina

EAN — European Article Number

ERP — Enterprise Resource Planning

ESL — Electronic Shelf Label

ESLs — Electronic Shelf Labels

FPM — Falha por Máquina

GTIN — Global Trade Item Number

ICS — Sistemas de Controle Industrial

IoT — Internet of Things

IIoT— Industrial Internet of Things

IPQ — Incidências de Falhas Prematuras

KPIs — Key Performance Indicators

LoS — Line-of-Sight

MES — Manufacturing Execution System

MESA — Manufacturing Enterprise Solutions Association

PDA's — Personal Digital Assistants

PLM — Product Lifecycle Management

POI — Pedidos de Produção

QR — Quick Response

RFID — Radio-frequency identification

SAE — Society American of Engineering

SRM — Sistema Reconfigurável de Manufatura

UPC — Universal Product Code

VR — Virtual Reality

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b>	<b>19</b>
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>19</b>
<b>1.1.2</b>	<b>Questão da Pesquisa</b>	<b>20</b>
<b>1.1.3</b>	<b>Motivações e Papel do Autor</b>	<b>20</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA DE PESQUISA</b>	<b>22</b>
<b>2.0.1</b>	<b>Materiais e Métodos</b>	<b>22</b>
<b>2.0.2</b>	<b>Método de levantamento e análise da Literatura</b>	<b>22</b>
<b>2.1</b>	<b>Desenvolvimento do estudo de Caso</b>	<b>25</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Cadastramento do Projeto na Plataforma Brasil e submissão do Pré-Projeto à análise do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP)</b>	<b>28</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Mapeamento das Atividades</b>	<b>28</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Mapeamento dos torques críticos em mangueiras e conexões</b>	<b>30</b>
<b>2.1.4</b>	<b>Base de dados para suportar a prioridade da sequência de implementação</b>	<b>31</b>
<b>2.1.5</b>	<b>Especificação das ferramentas inteligentes (tipo, intervalo de torque, quantidade e pontos de aplicação)</b>	<b>33</b>
<b>2.1.6</b>	<b>Justificativa de Capital e aprovações.</b>	<b>35</b>
<b>2.1.7</b>	<b>Aquisição das ferramentas inteligentes e dos controladores</b>	<b>36</b>
<b>2.1.8</b>	<b>Calibrações das ferramentas inteligentes no laboratório da qualidade</b>	<b>36</b>
<b>2.1.9</b>	<b>Criação das instruções de trabalho, para os montadores usarem na linha de montagem dos pulverizadores autopropelidos</b>	<b>36</b>
<b>2.1.10</b>	<b>Implementações das ferramentas inteligentes no chão de fábrica</b>	<b>37</b>
<b>2.1.11</b>	<b>Desenvolvimento das lógicas de programação, no sistema de gerenciamento MES XGAAT</b>	<b>37</b>
<b>2.1.12</b>	<b>Implementações finais das ferramentas inteligentes no chão de fábrica</b>	<b>39</b>
<b>2.1.13</b>	<b>Estruturação da estratégia de implementação final das ferramentas e do gerenciador de torques XGAAT</b>	<b>39</b>
<b>2.1.14</b>	<b>Escopo do Trabalho</b>	<b>40</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>41</b>
<b>3.1</b>	<b>Indústria 4.0</b>	<b>41</b>
<b>3.2</b>	<b>Sistemas de Manufatura</b>	<b>45</b>
<b>3.3</b>	<b>Aplicações na era da Indústria 4.0</b>	<b>48</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Principais Tecnologias na Era da Indústria 4.0</b>	<b>49</b>
<b>3.4</b>	<b>Um modelo inteligente na era da Indústria 4.0: Sistema de Etiquetas</b>	<b>52</b>

3.4.1	Etiquetas Inteligentes: Principais desafios . . . . .	52
3.4.2	Sistema Tradicional de Rotulagem versus Etiquetas Inteligentes . . . . .	53
3.5	Sistema de Execução de Fabricação (MES) . . . . .	56
3.6	MES XGAAT (X Green Assembly-Assist Tool) . . . . .	58
3.7	Funcionalidades do MES XGAAT . . . . .	59
3.8	Controle de Torque de Aperto . . . . .	60
3.9	Ferramentas Inteligentes: Torquímeros Wireless de Clique . . . . .	61
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO . . . . .	62
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS . . . . .	72
5.1	TRABALHOS FUTUROS . . . . .	75
	REFERÊNCIAS . . . . .	77

# CAPITULO 1

## INTRODUÇÃO

A indústria manufatureira está, atualmente, sujeita à grandes mudanças, que por sua vez, são ocasionadas por várias tendências globais em curso, tais como: a globalização, a urbanização, à individualização e à mudança demográfica, as quais desafiarão consideravelmente todo o ambiente produtivo e de fabricação no futuro, conforme verificado por (BARTODZIEJ, 2017).

Por um lado, o aumento das atividades empresariais, numa esfera global, aumentará a complexidade nas redes industriais. Em contrapartida, segundo estabeleceu (MERKEL *et al.*, 2017), os efeitos da demanda volátil e da customização de produtos irão influenciar os processos de produção e planejamento. Esses requisitos desafiadores irão forçar as empresas a adaptar sua abordagem de fabricação inteira, incluindo estrutura, processos e produtos.

Diante desse contexto, a indústria manufatureira alemã, apresentou ao mundo, em Janeiro de 2011, a sua iniciativa estratégica que ficou mundialmente conhecida como *Industry 4.0* ou Indústria 4.0. Cabe frisar que esta iniciativa foi e é realizada com o subsídio e participações de organizações industriais, científicas (universidades e centros de pesquisa) e do próprio governo alemão.

Segundo (BARTODZIEJ, 2017), essa medida foi adotada, em Novembro de 2011, como parte do Plano de Ação Estratégico de Alta Tecnologia 2020 (*High-Tech Strategy 2020 Action Plan*), o qual se encontra fundamentado em parâmetros técnicos, econômicos e sociopolíticos, com o objetivo de promover a mudança industrial. Há também o intuito de garantir a hegemonia tecnológica, pujança e competitividade do mercado e indústrias alemãs no mundo todo.

O termo Indústria 4.0 pode ser entendido como a quarta revolução industrial. Esta etapa do processo de industrialização está ocorrendo como as três revoluções anteriores, isto é, dominadas por inovações técnicas. Enquanto a mecanização e a eletrificação dos processos de fabricação levaram às

duas primeiras revoluções industriais, a terceira etapa caracterizou-se por um aumento da informatização e automação, o que vem atualmente transformando-se na quarta revolução industrial.

A Indústria 4.0 é marcada por uma integração técnica de sistemas cyberfísicos (CPS), em processos de fabricação e logística, assim como na integração com a Internet das Coisas (IoT).

Segundo (LEE; LEE, 2015), o termo *Cyber-Physical Systems* surgiu por volta de 2006, quando foi apresentado por Helen Gill na Fundação Nacional da Ciência nos Estados Unidos. É uma promissora classe de sistemas que incorporam capacidades cibernéticas ao mundo físico, seja em homens, em infraestrutura ou plataformas, para transformar interações com este. Avanços no mundo cibernético em comunicações, redes, sensores, computadores, armazenagem e controle, assim como no mundo físico em materiais, hardware, combustíveis renováveis, são rapidamente convertidos para realizar essa classe de sistemas computacionais altamente colaborativos, que se apoiam em sensores e atuadores para monitorar e efetuar mudanças.

Já o termo Internet das Coisas (IoT), refere-se à rede global que conecta objetos através de tecnologias de internet e ao conjunto de tecnologias necessárias para criar essa interface (incluindo, por exemplo, RFIDs, sensores e atuadores, máquina à máquina, aparelhos de comunicação etc.), permitindo que essas tecnologias abram novos negócios e oportunidades de mercado (MIORANDI *et al.*, 2012).

Segundo Gubbi *et al.* (2013), a aplicação da Internet das Coisas demanda três componentes principais: hardware, composto por sensores, atuadores e comunicadores; *middleware*, caracterizado por ferramentas de armazenagem e análise de dados; e apresentação, que configura ferramentas de fácil visualização e interpretação acessíveis de diferentes plataformas.

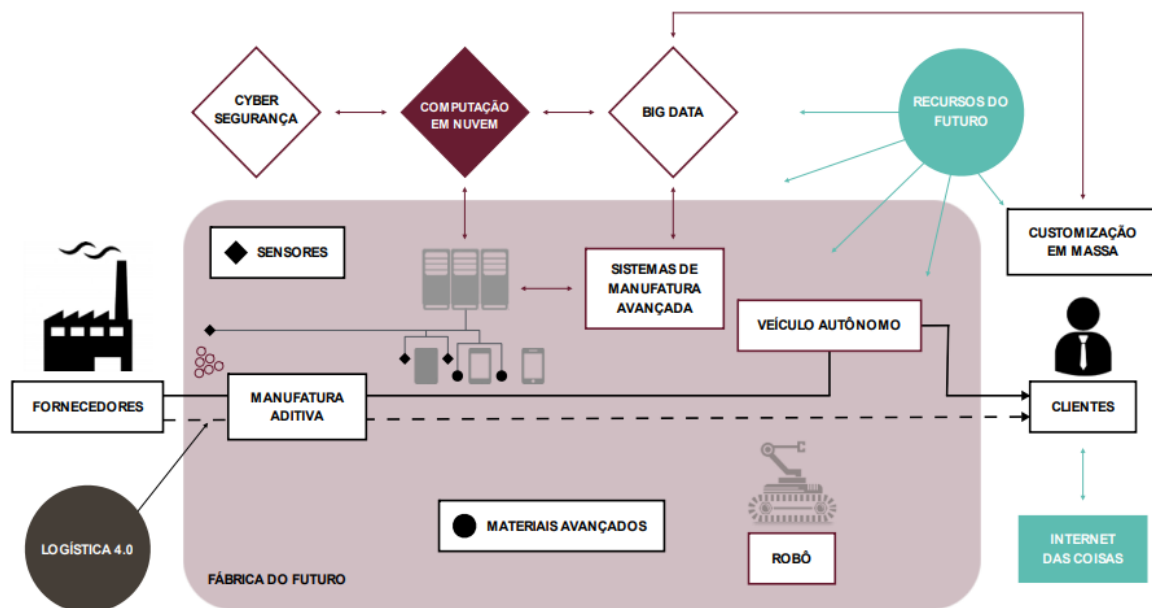
Adotando uma abordagem em camadas de funcionalidade, e mais detalhada que a de Gubbi *et al.* (2013), Bandyopadhyay e (2011) dividem os componentes da Internet das Coisas em tecnologias-chave: tecnologias de identificação, de arquitetura, de comunicação, de rede, de processamento de dados e sinais, de ferramenta de pesquisa, de gestão de rede, de armazenagem de potência e energia, de segurança e privacidade e de standardização.

As novas tecnologias terão um impacto diverso na criação de valor, organização do trabalho, serviços e modelos de negócios das empresas.

Na vanguarda de todos os desenvolvimentos da Indústria 4.0, o conceito de Fábrica Inteligente ou *Smart Factory* desempenha um papel importante na definição da visão de uma nova era industrial.

Fábrica inteligente ou Fábrica 4.0, segundo Blanchet *et al.* (2014), é um termo que remete a processos novos e radicais em empresas de manufatura. Nesses processos, dados são obtidos dos fornecedores, clientes e da própria empresa e avaliados para serem integrados a produção real. A produção em Fábricas Inteligentes envolve os conceitos da Indústria 4.0, como pode ser visto na Figura 1.1.

Figura 1.1 – Modelo estrutural de uma fábrica inteligente.



Fonte – Blanchet *et al.* (2014)

Conforme mostrado na Figura 1.1, a fábrica se relaciona com os fornecedores através de sistemas interconectados, com coordenação perfeita das atividades das partes e uma cadeia de suprimentos completamente integrada. A produção propriamente dita utiliza tecnologias modernas como: a Impressão 3D e a Manufatura Aditiva em geral, permitindo a customização em massa e reduzindo as perdas de material como sucata, além da robotização, a qual possibilita alta produtividade a custos mais baixos e total transparência nos dados reportados.

Os materiais utilizados na produção também agregam valor à produção nas fábricas, com diferenciações técnicas cada vez mais desenvolvidas, estruturas inteligentes e conectividade.

Um sistema intermediário entre os Sistemas de Controle Industrial (ICS) e aplicativos corporativos, tais como o Planejamento dos Recursos da Empresa (ERP), é o Sistema de Execução de Fabricação (MES), cujo foco de análise desse trabalho, trata-se o sistema MES X Green Assembly-Assist Tool(XGAAT), da XGreen S/A.

A XGreen S/A, é uma grande empresa do setor do agronegócio localizada no estado de Goiás e que realiza montagem de pulverizadores autopropelidos. Anualmente são montados cerca de milhares pulverizadores e durante vários anos foram verificados pela empresa um grande índice de Falhas por Máquinas (FPM) durante o processo de montagens desses equipamentos, gerando onerosidade e prejuízo a mesma, assim como, em sua competitividade com outras empresas do ramo.

Dessa forma, esse trabalho propõe a realização de um mapeamento de forma detectar os processos de falhas e propor de acordo com os conceitos da Indústria 4.0 a implantação de Ferramentas Inteligentes, afim de melhorar os níveis da qualidade distinta, na linha de montagem dos pulverizadores.

O resultado disso seria a diminuição do índice de FPM no chão de fábrica, que faz parte do tema do referido estudo.

## 1.1 Objetivos

De acordo com a relevância do tema, é essencial esclarecer a sua terminologia, explicar as relações e identificar os fatores e as barreiras para a implementação das tecnologias inerentes à Indústria 4.0, já que se trata de uma área do conhecimento bastante inexplorada em termos de pesquisa acadêmica, tal qual a sua implementação prática no âmbito industrial.

O que se percebe é um descompasso no que tange aos anseios dos fabricantes de tecnologias aplicáveis à Indústria 4.0 e dos potenciais clientes, uma vez que os fornecedores de tecnologia estão inseguros sobre as necessidades reais dos seus potenciais clientes, dentro do contexto da quarta revolução industrial.

Por outro lado, os usuários (empresas e usuários domésticos) de tecnologia não estão totalmente informados e inteirados acerca das novas tecnologias. Esse fato faz com que os mesmos tenham dificuldades em vislumbrar oportunidades práticas e reais de como devem implementar os conceitos da Indústria 4.0 no chão de fábrica e no meio produtivo em geral.

Diante desse cenário, uma abordagem viável para abordar esta questão das duas perspectivas é construir uma ponte entre as tecnologias e as necessidades dos clientes por descrição e avaliação de funções tecnológicas.

Por isso, o objetivo deste estudo é verificar como as tecnologias inerentes à quarta revolução industrial podem contribuir para que o setor do agronegócio possa se beneficiar ao máximo desse fenômeno.

Com base nas pesquisas literárias, as funções dessas tecnologias serão elaboradas e definidas no contexto dessa dissertação. Por meio de um estudo de caso Quali e Quantitativo, a influência dessas funções, sua relevância prática e sua prontidão no mercado serão exploradas.

### 1.1.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desse trabalho são realizar concomitantemente com as implementações das ferramentas inteligentes, outras medidas no chão de fábrica da XGreen S/A, as quais permitirão alcançar o objetivo geral desse estudo, que no caso seria a diminuição do índice de Falhas por Máquinas (FPM). Dentre as ações, podem-se citar:

- I Auditoria de Inspeção do Produto, no fim da linha de montagem dos pulverizadores autopropelidos;
- II Teste de detecção de vazamentos hidráulicos, fazendo-se uso de Luz Preta (*Black Light*);

III Diminuição dos índices de Defeitos por Máquinas (DPM) e de Incidências de Falhas Prematuras, no campo (IPQ).

### 1.1.2 Questão da Pesquisa

Sabendo-se que o a área de concentração do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP), da UFG, Regional Catalão, é Engenharia de Operações e Processos Industriais, buscou-se desenvolver no âmbito da Engenharia de Manufatura da XGreen S/A esse projeto de Pesquisa que em razão de sua natureza, está em consonância com os anseios do PPGEP. A Engenharia de Operações e Processos Industriais engloba o planejamento, a programação, a execução e o controle de processos produtivos para converter recursos de entrada em produtos e serviços. Foca os estudos em conceitos de projetos, engenharia industrial, engenharia e desenvolvimento de produtos e de processos produtivos, engenharia da qualidade e da produtividade, gestão da manutenção industrial, entre outros elementos que afetam diretamente os processos produtivos industriais. De acordo com os objetivos citados anteriormente e com o contexto do que foi apresentado até o presente momento, esse estudo tem o propósito de responder à seguinte questão:

- Q1 - Como o Controle de Torque, aliado ao Sistema MES XGAAT e a adoção de ferramentas inteligentes, no chão de fábrica, contribuirão para que a XGreen S/A, possa melhorar o controle e a rastreabilidade de Processos nas linhas de montagem dos pulverizadores autopropelidos, tão bem como melhorar os processos qualitativos e de desenvolvimento de novos modelos de pulverizadores autopropelidos?

Tomando-se como base a questão de pesquisa formulada, estabeleceu-se um projeto de pesquisa exploratória. Cabe frisar que os métodos de pesquisa têm principalmente fundamentos qualitativos, pois esses procuram obter conhecimento científico. Ademais, o uso de métodos de pesquisa qualitativa é, em particular, adequado para áreas relativamente inexploradas, como a Indústria 4.0, já que os problemas podem ser vistos e abordados de diferentes perspectivas.

Conforme defendido por Bartodziej (2017), a pesquisa qualitativa é mais adequada para entender as "questões porquê", as quais são empregadas quando se conhece pouco sobre um dado fenômeno. Do mesmo modo, são adequadas para melhor compreender as "questões como", as quais servem para descrever processos ou comportamentos de um dado fenômeno.

### 1.1.3 Motivações e Papel do Autor

Empresas que querem ser bem-sucedidas no futuro estão buscando as oportunidades fornecidas pela digitalização agora. A digitalização promete custos menores, melhoria na qualidade de produção, flexibilidade e eficiência, menor tempo de resposta para solicitações de clientes e demandas do mercado e, também, abre áreas de negócios novas e inovadoras. Neste trabalho, trata-se da inserção dos conceitos

oriundos da Indústria 4.0 ou 4ª revolução Industrial nos postos de montagem e submontagem da linha de pulverizadores autopropelidos da XGreen S/A, a fim de se melhorar a Rastreabilidade de Processos e prover uma Redução de Falhas por Máquinas (FPM: Failure Per Machines), no que tange aos requisitos de Qualidade. Para tanto, estabelece-se um plano para a implementação dos Torquímetros Wireless, das ponteiras, controladoras e de um Sistema de Execução de Manufatura MES (XGAAT), em alguns postos e subpostos, no âmbito da Engenharia de Manufatura da XGreen S/A. Tais modificações contribuirão, conseqüentemente, para promover a diminuição de problemas de Qualidades, ligados a alguns componentes hidráulicos, tais como conexões e mangueiras. A adoção dessas medidas garantirá que os torques críticos e controlados, serão efetivamente aplicados, já que haverá diminuição de Falhas Por Máquinas (FPM: Failure Per Machines) e estruturação da rastreabilidade de Processos, de modo a mitigar a ocorrência de falhas, tão bem quanto o de potencializar o poder de visão, a fim de atuar de maneira assertiva, nas resoluções dos problemas Qualitativos e Gestão de Processos. Diante do exposto, constata-se que as variáveis de estudos estão perfeitamente aderentes ao que é proposto pela Indústria 4.0, ou seja, o uso de ferramentas inteligentes e de sistemas de informação, visa imprimir uma melhor Gestão dos Processos Produtivos e da Qualidade e da criação de uma Fábrica Inteligente. Cabe salientar que o autor tem forte correlação com o "universo da Engenharia de Manufatura" e com o referido tema proposto de pesquisa, em função de atuar como Engenheiro de Processos e Manufatura, no âmbito da XGreen S/A.

## CAPITULO 2

### METODOLOGIA DE PESQUISA

Nessa seção serão fornecidos todo o descritivo acerca da Metodologia, dos Materiais e Métodos, os quais foram aplicados para o Desenvolvimento e Conclusão desse estudo, tão bem como, todo o desenvolvimento do trabalho que visou a implementação das ferramentas inteligentes (apertadeiras eletrônicas e torquímetro wireless) e o sistema MES XGAAT para o gerenciamento do Controle de Torque no âmbito da XGreen S/A.

#### 2.0.1 Materiais e Métodos

As questões de pesquisa estabelecidas para o desenvolvimento deste trabalho são provenientes da adoção do método de Revisão das Referências, para a realização de uma investigação inicial de natureza teórico-conceitual e desenvolvimento de uma visão abrangente e atual sobre o uso dos conceitos inerentes à Indústria 4.0 e de suas limitações. A fim de se obter dados empíricos sobre uma experiência real de implementação de conceitos e práticas atreladas a esta área do conhecimento, recorreu-se também à aplicação do método de estudo de caso.

#### 2.0.2 Método de levantamento e análise da Literatura

Esse trabalho foi elaborado a partir de uma revisão da literatura nas bases de dados da Scopus Elsevier, no período entre 2014 a 2017. As palavras-chave utilizadas foram "*Industry 4.0*", "*Smart Factory*", "*Smart Tools*", "*Internet of Things - IoT*" e "*Torque Control*", cujas traduções literais na língua portuguesa são "Indústria 4.0", "Fábrica Inteligente", "Ferramentas Inteligentes", "Internet das Coisas - IoT" e "Controle de Torque", respectivamente.

Procurou-se também parametrizar a "Busca" ao fazer uso de alguns filtros, tais como: artigos revisados por mais de dois pares, artigos publicados no idioma Inglês e artigos mais citados. Cabe-se ressaltar que a procura foi realizada dentro da base de periódicos que abrange a área de Engenharia da referida base de dados, isto é, da Scopus Elsevier.

Após esse procedimento, foram selecionados os artigos com maior número de citações e/ou relevância conforme classificação indicada por esta renomada base de dados. Na Figura 2.1, pode-se ver a evolução desse tema de estudo, isto é, Indústria 4.0, nos últimos anos:

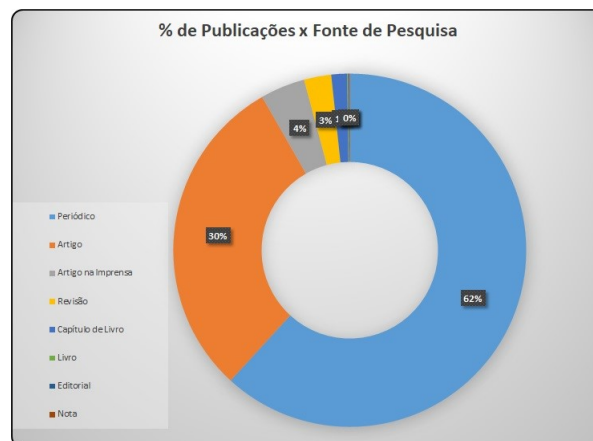
Figura 2.1 – Evolução do tema de estudo.



Fonte – Scopus Elsevier, Julho (2018)

Ao se realizar um aprofundamento acerca desse universo de pesquisa, conseguiu-se estratificar as fontes, ou seja, de onde são provenientes os artigos, livros, periódicos e revistas, no período de 2014 a 2017, no âmbito da base de dados da Scopus Elsevier. Esse fato encontra-se representado na Figura 2.2.

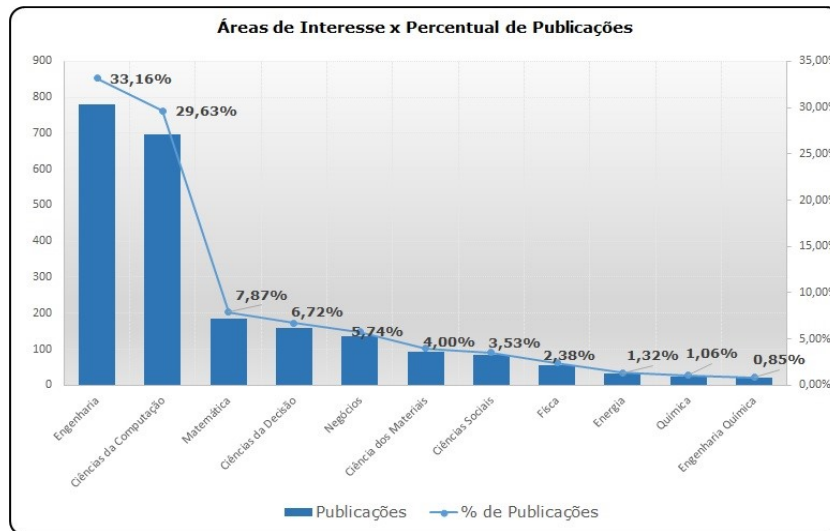
Figura 2.2 – Percentual de publicações x fonte de pesquisa.



Fonte – Scopus Elsevier, Julho (2018)

Ainda através dessas análises, foram filtradas as concentrações das publicações, tendo-se como base as áreas de interesse e os seus respectivos percentuais de publicação, conforme mostrado na Figura 2.3.

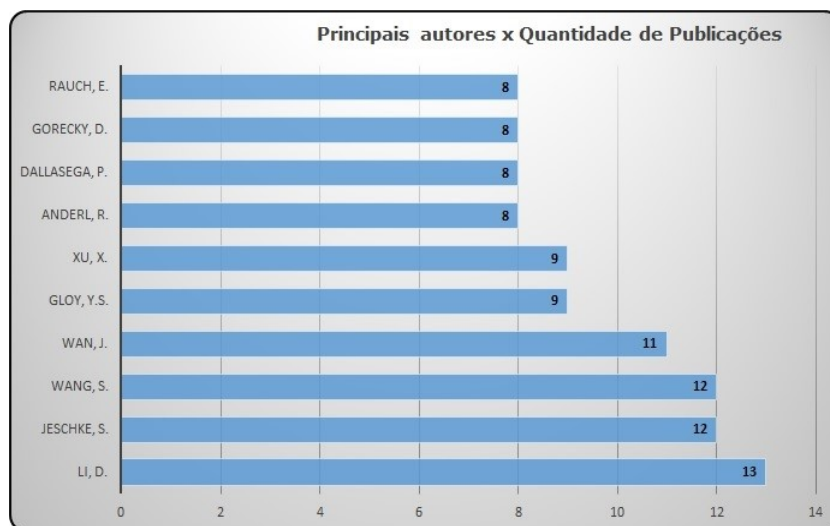
Figura 2.3 – Percentual de publicações x áreas de interesse



Fonte – Scopus Elsevier, Julho (2018)

Por meio dessa revisão de literatura foi possível ter uma visão de quais são os países líderes quanto ao desenvolvimento de pesquisas nessa área do conhecimento, bem como os principais autores da atualidade, conforme exposto nas Figuras 2.4 e 2.5.

Figura 2.4 – Principais autores x quantidade de publicações



Fonte – Scopus Elsevier, Julho (2018)

Figura 2.5 – Países líderes x quantidade de publicações



Fonte – Scopus Elsevier, Julho (2018)

Para se atingir os objetivos do trabalho, criaram-se várias atividades-chaves, as quais serão apresentadas na próxima seção, onde falar-se-á sobre o desenvolvimento do Estudo de Caso.

## 2.1 Desenvolvimento do estudo de Caso

Com base na conclusão da etapa anterior, a qual versou sobre a captação dos conceitos difundidos e inerentes à Indústria 4.0, no âmbito da Engenharia de Manufatura, o estudo de caso, teve prosseguimento com uma pesquisa para aumentar o entendimento acerca das implementações práticas dos seus conceitos, no chão de fábrica. Para tanto, resolveu-se fazê-lo através do desenvolvimento de um estudo de caso na linha de montagem dos pulverizadores autopropelidos da XGreen S/A. A XGreen S/A é uma empresa multinacional, de grande porte, produtora de equipamentos e implementos agrícolas. A referida empresa, produz milhares de pulverizadores autopropelidos anualmente e está enquadrada, como uma das empresas mais importantes e significativas dentro do seu nicho de atuação, já que ao longo de 180 anos de existência, foi pioneira no desenvolvimento de muitos produtos e de tecnologia. Nesta unidade fabril da referida empresa, produzem-se colhedoras de cana e pulverizadores auto-propelidos, os quais são produzidos para atender à demanda do Brasil e de outros países estrangeiros. Os principais valores da XGreen S/A são: Integridade, Qualidade, Comprometimento e Inovação. A seguir, far-se-á um breve resumo sobre cada um destes:

- **Inovação:** Significa inventar, projetar e desenvolver produtos e serviços inovadores que tenham alto apelo no Mercado e fortaleçam a preferência do cliente pela marca XGreen S/A. A inovação se estende usando tecnologia de última geração para estabelecer processos de fabricação de classe mundial e aplicar as ferramentas e práticas mais avançadas de tecnologia da informação em toda a companhia.

- **Qualidade:** Significa entregar valor aos clientes, funcionários, e a todas as partes interessadas. Qualidade pode ser mostrada de várias maneiras – vendendo e entregando produtos e serviços que encantam os clientes, estabelecendo um ambiente de trabalho em que os funcionários prosperam, entregando resultados financeiros que atendam às expectativas dos investidores, e mantendo relações sólidas em benefícios de todos os acionistas da XGreen S/A;
- **Integridade:** Significa dizer a verdade, manter nossa palavra e tratar a todos com justiça e respeito. Isso é demonstrado por relacionamentos honestos, decisões que consideram um equilíbrio entre os interesses de todas as partes interessadas e um compromisso inquestionável com o comportamento ético e legal. Integridade é um dos nossos ativos mais apreciados. E não deve ser comprometido.
- **Comprometimento:** significa fazer o nosso melhor para atender as expectativas das partes interessadas, de maneira previsível e consistente ao longo do tempo. Reconhecemos que nossos clientes, bem como nossos funcionários e investidores, têm muitas opções para escolher a empresa com quem se associar. Nossa oportunidade de servir deve ser vista como um privilégio que não deve ser tido como garantido.

A realização de um estudo com tal propósito remete a um questionamento do tipo "Como", e de acordo com estudos realizados e defendidos por Meredith (1998), estas circunstâncias são pertinentes com as que justificam a adoção do método do Estudo de Caso.

Segundo Yin (2015), há, no mínimo, quatro aplicações diferentes para o estudo de caso:

- I. Explicar os supostos vínculos causais em intervenções da vida real que são complexos demais para as estratégias de pesquisa experimentais;
- II. Descrever uma intervenção no contexto da vida real em que ela ocorre;
- III. Ilustrar certos tópicos dentro de uma avaliação de um modo descritivo;
- IV. Explorar aquelas situações nas quais a intervenção que está sendo avaliada não apresenta um conjunto simples e claro de resultados.

Nessa Pesquisa, buscou-se aplicar todas as mencionadas aplicações ao longo do desenvolvimento do projeto, no que tange ao estudo de caso.

Correa (1992) apresenta uma visão geral das características dos diferentes métodos de pesquisa em relação aos requisitos da pesquisa a ser realizada. A Tabela 2.1 apresenta esta comparação, indicando que a adequação dos métodos varia em função do tipo de questão a se investigar. O método do Estudo de Caso, como mostra a mesma Tabela, pode ser aplicado em pesquisas nas quais o objetivo é responder a questões de pesquisa do tipo *Como* e de que maneira ocorrem os métodos do Experimento e da Pesquisa e Ação.

Além dessas características, o Estudo de Caso não necessita de acompanhamento do pesquisador de forma ativa e também é o mais adequado quando se deseja entendimento profundo do processo de decisão.

Tabela 2.1 – Métodos, requisitos e características principais

<b>Requisitos/Características</b>	<b>Experimento</b>	<b>Survey</b>	<b>Estudo de Caso</b>	<b>Pesquisa Ação</b>
<b>Presença do pesquisador na Coleta de Dados</b>	Possível	Não Usual Difícil	Usual	Usual
<b>Tamanho pequeno da Amostra</b>	Possível	Não Usual	Usua	IUsual
<b>Variáveis difíceis de quantificar</b>	Possível	Possível	Possível	Possível
<b>Mensurações perceptivas</b>	Possível	Possível	Possível	Possível
<b>Os constructos não são Predefinidos</b>	Não Usual	Difícil	Adequado	Possível
<b>A casualidade é central na análise</b>	Adequado	Possível	Adequado	Possível
<b>Necessita construir Teoria: responder questões do tipo "Como"</b>	Possível	Difícil	Adequado	Possível
<b>Necessita de entendimento profundo do Processo de Decisão</b>	Difícil	Difícil	Adequado	Possível
<b>Participação não-ativa do pesquisador</b>	Possível	Possível	Possível	Impossível
<b>Falta de Controle sobre as variáveis</b>	Difícil	Possível	Possível	Possível

Fonte – (CORREA, 1992)

### **2.1.1 Cadastramento do Projeto na Plataforma Brasil e submissão do Pré-Projeto à análise do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP)**

De acordo com a Resolução nº 466/12 e a Resolução n. 510/16, “toda pesquisa envolvendo seres humanos deve ser submetida à apreciação de um Comitê de Ética em Pesquisa (CEP)”, de forma que, caso receba sua aprovação, possa ser iniciada em seguida a coleta de dados, conforme prevê a resolução. Então, como em princípio todas as pesquisas envolvendo seres humanos devem ser analisadas pelo Sistema CEP/CONEP. Portanto, é importante compreendermos em que casos se faz a exceção a essa regra. Para isso, devemos retomar a definição de pesquisas, feita pela Resolução CNS nº 466/12: “Classe de atividades cujo objetivo é desenvolver ou contribuir para o conhecimento generalizável. O conhecimento generalizável consiste em teorias, relações ou princípios ou no acúmulo de informações sobre as quais estão baseados, que possam ser corroborados por métodos científicos aceitos de observação e inferência”. À partir desse conceito, podemos entender que pesquisas que tenham como objetivo apenas o monitoramento de um serviço, para fins de sua melhoria ou implementação, não visam a obter um conhecimento generalizável, mas apenas um conhecimento que poderá ser utilizado por aquele serviço ao qual se destina. Exemplo disso são aquelas pesquisas de monitoramento de satisfação, ou pesquisas de opinião sobre um serviço. Essas, então, não necessitam de análise ética. Da mesma forma, pesquisas realizadas pelo Poder Público, para que melhor se conheçam as características de uma população específica, visando a melhoria das ações em benefício dessa população, não necessitam análise pelo Sistema CEP/CONEP. Exemplo disso são as pesquisas censitárias, realizadas pelo IBGE. Importante ressaltar que em caso de dúvida, o Comitê de Ética em Pesquisa – CEP pode e deve enviar à CONEP o caso concreto, para posicionamento. Tratando-se especificamente deste projeto de Pesquisa, o mesmo teve aprovação e aval do CEP para o avanço das etapas subsequentes; O CEP julgou inclusive a não necessidade de realização dessa etapa, já que este estudo não utilizou em sua metodologia e execução o uso de animais ou de seres humanos.

### **2.1.2 Mapeamento das Atividades**

Por uma questão didática, funcional e prática, foram estabelecidos alguns marcos no projeto, para guiar as atividades a serem cumpridas até a finalização deste estudo, conforme apresentado na tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Mapeamento das atividades efetuadas

<b>Atividades</b>
Mapeamento dos torques críticos em mangueiras e conexões
Banco de dados para suportar a prioridade da sequência de implementação
Estabelecer os valores de 2017, inerentes às falhas por máquinas (FPM's), nas linhas de montagem dos pulverizadores, modelos PV1 e PV2, como parâmetro de referência
Realizar o mapeamento de FPM's absolutos no processo de montagem dos pulverizadores modelos PV1 e PV2, por 02 anos, a partir do ano de 2017;
Especificação de ferramentas inteligentes (tipo, intervalo de torque e qtde.) e pontos de aplicação
Justificativa de Capital e Aprovações
Aquisição das ferramentas Inteligentes
Calibrações das ferramentas inteligentes no Laboratório da Qualidade
Validação dos acessos às ferramentas e das especificações de Torque
Estruturação tecnológicas das estações de trabalho, do ponto de vista da Tecnologia de Informação
Criação das Instruções de Trabalho, para os montadores usarem na linha de montagem dos pulverizadores autopropelidos
Implementações das ferramentas inteligentes no chão de fábrica
Desenvolvimento das lógicas de programação, no sistema de gerenciamento MES XGAAT
Implementações finais das ferramentas inteligentes no chão de fábrica
Estruturação da estratégia de implementação final das ferramentas e do gerenciador de Torques MES XGAAT
Analisar os resultados da implantação das ferramentas em relação aos dados antigos

Fonte – Elaborado pelo próprio autor.

Nas próximas subseções serão detalhadas algumas das referidas Atividades, isto é, as mais representativas, de tal maneira que se possa construir um entendimento sólido acerca de todos os passos adotados para a conclusão desse estudo.

### 2.1.3 Mapeamento dos torques críticos em mangueiras e conexões

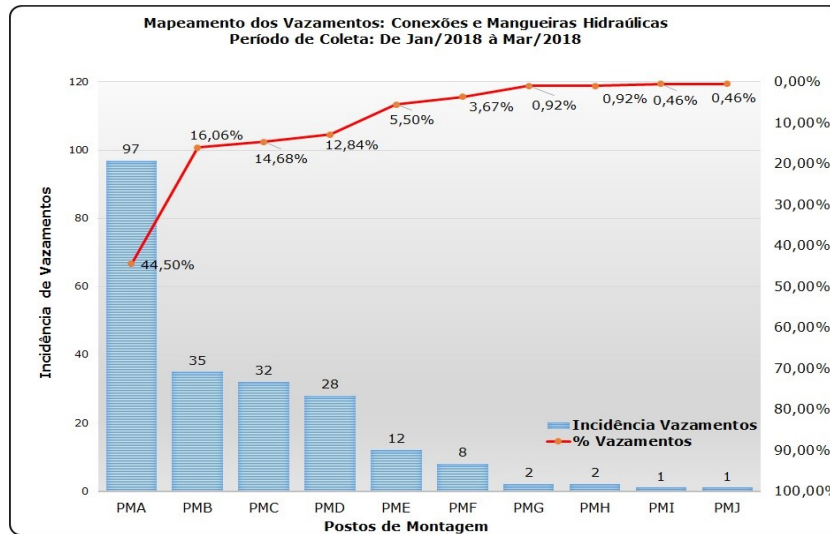
Nessa atividade, fez-se um levantamento criterioso acerca de todos os Torques Críticos, os quais devem ser aplicados nas mangueiras e conexões dos equipamentos pertencentes à linha de Produto dos Pulverizadores Autopropelidos da XGreen S/A.

Para ajudar nesse trabalho de levantamento e validação dos Torques, buscou-se usar todas as Normas de Controle de Torque interinas e SAE (SAE) e que são aplicadas no âmbito da referida companhia. Utilizou-se, como ferramenta de suporte para esta atividade, um Relatório de Incidência de Falhas (QNotes), disponibilizado pelo setor da Qualidade da empresa XGreen S/A, o qual permitiu rastrear as maiores incidências de vazamentos, assim como indicar os respectivos postos de montagem, onde ocorriam essa falha.

Dessa forma, foi possível criar uma curva ABC ou gráfico de Pareto, a qual mostra uma estratificação dos postos mais críticos para os menos críticos. O objetivo principal da curva ABC ou gráfico de Pareto é nortear as ações de contenção, tendo-se como referência os postos mais afetados pelos vazamentos, os quais correspondem a 88,00% dos problemas de vazamentos, conforme ilustra a Figura 2.6. Diante do gráfico, constate-se que os postos PMA (PM50), PMB (PM52), PMC (PM53) e PMD (PMJ) são os postos que deveriam receber as implementações das ferramentas inteligentes. Os postos PM50, PM52 e PM53, são postos principais dentro da linha Montagem, já o PMJ é um subposto da linhas principal. Nos mesmos são montados os seguintes componentes:

- PM50: Ocorrem as montagens do chassis principal dos pulverizadores, tanque hidráulico, tubos e mangueiras;
- PM52: Ocorrem as montagens da cabine e dos sistemas de resfriamento;
- PM53: Ocorrem as montagens do tanque de combustível, plataforma e de uma articulação importante do chassis, conhecida internamente como "joelho";
- PMJ: Corresponde a um subposto de montagem, isto é, nesse local são realizadas as pré-montagens dos grupos de válvulas e do tanque hidráulico.

Figura 2.6 – Mapeamento dos vazamentos na linha de Montagem dos pulverizadores autopropelidos



Fonte – Elaborado pelo próprio autor.

### 2.1.4 Base de dados para suportar a prioridade da sequência de implementação

Conforme foi mostrado na seção anterior, após o Mapeamento dos Torques Críticos, conseguiu-se criar uma base de dados contendo todas as mangueiras e conexões, bem como os componentes (motor, transmissão, sistema hidráulico etc.), estações e subestações nas quais os mesmos são montados. Assim, para ajudar no processo de gerenciamento das informações, criou-se uma planilha onde foram armazenados todos os dados referentes aos torquímetros, tão bem como os processos da linha de montagem, dos postos de controle. Esse fato pode ser corroborado a partir das Tabelas 2.3, 2.4 e da Figura 2.6 respectivamente, as quais seguem abaixo:

Tabela 2.3 – Mapeamento dos torques críticos por componentes, estação de montagem e torques críticos

<b>Estação</b>	<b>Produto</b>	<b>Cód da Peça</b>	<b>Descrição</b>	<b>Torque [Nm]</b>	<b>Ferramental Ponteira</b>
PMJ	PV02	61H1007	90 DEG ELBOW,O-RING FSF	68	1 3/8
PMJ	PV02	AN205080	CONNECTOR SPECIAL ASSY.	68	1 5/16
PMJ	PV02	AN205181	ELBOW ASSEMBLY	68	1 3/16
PMJ	PV02	AN205966	HYDRAULIC HOSE- FABRICATE, HOSE, H	175	1 3/8
PMJ	PV01	AN306475	OIL LINE, RETURN AP COMPRESSOR MW4/	37	11/16
PMJ	PV02	AN302174	TUBE, TUBE ASSY, FRONT HYDRO RE -VERS	73	5/8
PMK	PV02	19M10223	HOSE, HYDRAULIC	40	15mm
PMK	PV02	RE12176	HOSE, HYDRAULIC - BOOM LEVEL	18	3/4
PMK	PV02	R259720	ADAPTER, FAN	101	HELICE
PMK	PV02	14M7401	NUT, METRIC, HEX FL, SELF LOCKING	117	18mm
PML	PV02	AN303275	FITTING-1/4 MALE NPT TO 1/4"PTC	10	14mm
PML	PV02	19M9841	SCREW, FLANGED, ME- TRIC	30	13mm
PM51	PV02	19m9836	SCREW, FLANGED, ME- TRIC	20	13mm
PMJ	PV02	61H1004	90 DEG ELBOW,O-RING FSF	24	3/4
PMJ	PV02	61H1016	BRANCH TEE,O-RING FSF	24	3/4
PMJ	PV02	61H1023	RUN TEE,O-RING FSF	24	3/4
PMJ	PV02	AN194518	HYDRAULIC HOSE - FA- BRICATE, HOSE, H	37	13/16

Fonte – Elaborado pelo próprio autor.

Tabela 2.4 – Mapeamento dos torques críticos por componentes, estação de montagem e torques críticos

<b>Estações</b>	<b>Torquímetros</b>	<b>Controladoras</b>
PMM	2	1
PM50	17	2
PM51	17	2
PM52	11	1
PM53	9	1
PM55	5	1
PMJ Tandem	18	2
PMJ Válvulas	22	2
PMK	29	2
PML	9	1
PMO	5	1
<b>Total</b>	<b>144</b>	<b>16</b>
<b>285</b>	<b>123</b>	<b>43</b>

Fonte – Elaborado pelo próprio autor.

### 2.1.5 Especificação das ferramentas inteligentes (tipo, intervalo de torque, quantidade e pontos de aplicação)

Tendo como base os Torques Críticos estabelecidos e os postos com maior incidência de vazamentos (mangueiras e conexões), traçou-se uma estratégia a qual consistiu em definir as quantidades e tipos de ferramentas inteligentes.

Como as ferramentas deveriam ser implementadas, tanto nas estações e subestações da Montagem, tomou-se o cuidado de observar todas as questões inerentes à Segurança, à Produtividade e à Ergonomia, nos referidos postos da Montagem, como mostrado na Tabela 2.5 e 2.6.

Tabela 2.5 – Especificação das ferramentas inteligentes

<b>Sequência</b>	<b>Produto</b>	<b>Grupo</b>	<b>Código da Peça</b>	<b>Descrição Geral</b>	<b>Torque [Nm]</b>	<b>Ponteiras [in]; [mm]</b>	<b>Torquímetro</b>
1	XG2040	Pré- Montagem	AN305363	Mangueira Hidráulica	37	7/8	TQW0001
2	XG2040	Pré- Montagem	AN305363	Mangueira Hidráulica	37	7/8	TQW0001
3	XG2040	Pré- Montagem	AN306162	Mangueira Hidráulica	37	7/8	TQW0001
4	XG2040	Pré- Montagem	AN306160	Mangueira Hidráulica	37	7/8	TQW0001
5	XG2040	Pré- Montagem	AN306161	Mangueira Hidráulica	37	7/8	TQW0001
6	XG2040	Pré- Montagem	AN306162	Mangueira Hidráulica	37	7/8	TQW0001
7	XG2040	Pré- Montagem	AN306162	Mangueira Hidráulica	37	7/8	TQW0001
8	XG2040	Pré- Montagem	AN306162	Mangueira Hidráulica	37	7/8	TQW0001
9	XG2040	Pré- Montagem	AN306162	Mangueira Hidráulica	37	7/8	TQW0001
10	XG2040	Pré- Montagem	AN306162	Mangueira Hidráulica	24	11/16	TQW0002
11	XG2040	Pré- Montagem	AN306161	Mangueira Hidráulica	24	11/16	TQW0002
12	XG2040	Pré- Montagem	AN305565	Sensor	16	24	TQW0004
13	XG2040	Pré- Montagem	AN305565	Sensor	16	24	TQW0004

Fonte – Elaborado pelo próprio autor.

Tabela 2.6 – Especificação das ferramentas inteligentes

<b>Torquímetros</b>	<b>RangeNm</b>	<b>Preço US\$</b>
Torquímetro de estalo preset SR com switch wireless 17 Nm, mod.SLTC-FM2-4S0I	3,2 - 17	632,81
Torquímetro de estalo preset SR com switch wireless 34 Nm, mod.SLTC-FM2-4 300I	6,8 - 34	641,25
Torquímetro de estalo preset SR com switch wireless 85 Nm, mod.SLTC-FM2-4 750I	17 - 85	653,91
Torquímetro de estalo preset SR com switch wireless 204 Nm, mod.SLTC-FM2.4 1800I	41 - 204	675
Torquímetro de estalo preset SR com switch wireless 408 Nm	80 - 408	970,31

Fonte – Elaborado pelo próprio autor.

### 2.1.6 Justificativa de Capital e aprovações.

Nessa etapa, foi construído um Plano de Negócios, já que sempre que os Recursos, como dinheiro ou esforço, são caracterizados como Despesa, eles devem estar em apoio a uma necessidade de negócio específica. Dessa forma, criou-se o referido documento, conforme é apresentado na Tabela 2.7 e Figura 2.7. Objetivando-se captar adequadamente tanto as características quantificáveis e não quantificáveis do projeto proposto. Com base neste documento, foram captados os recursos necessários para a estruturação e implementação deste projeto piloto.

Tabela 2.7 – Especificação das ferramentas inteligentes

<b>1ª Fase</b>		
<b>Itens</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço</b>
Wireless Wrenches	56	37,132.33
Global 400	7	38,801.77
Toolings	56	3,094.19

Fonte – Elaborado pelo próprio autor.

Figura 2.7 – Ferramentas Inteligentes



Fonte – Elaborado pelo próprio autor.

### 2.1.7 Aquisição das ferramentas inteligentes e dos controladores

Aqui, procedeu-se efetivamente com a compra do parque das ferramentas inteligentes, dos torquímetros wireless, das apertadeiras eletrônicas e dos controladores; É importante salientar que cada controlador é capaz de gerenciar até 16 torquímetros wireless no chão de fábrica;

### 2.1.8 Calibrações das ferramentas inteligentes no laboratório da qualidade

Após o recebimento de todos os controladores, das apertadeiras eletrônicas e dos torquímetros wireless, criou-se um calendário, o qual teve como objetivo principal, subsidiar os processos de calibração e aferição das ferramentas no Laboratório da Qualidade da XGreen S/A.

### 2.1.9 Criação das instruções de trabalho, para os montadores usarem na linha de montagem dos pulverizadores autopropelidos

Objetivando mitigar eventuais erros durante o processo de montagem, criou-se documentos chamados de Instruções de Trabalhos (OMS), as quais possuem um detalhamento técnico de como os operadores no chão de fábrica devem efetivar e proceder todos os passos, inerentes às montagens de um dado sistema, conjunto, subconjunto e ou componente. Nas mesmas são discriminados todos os Torques Críticos e Controlados, os quais são incidentes em uma dada mangueira e conexão.

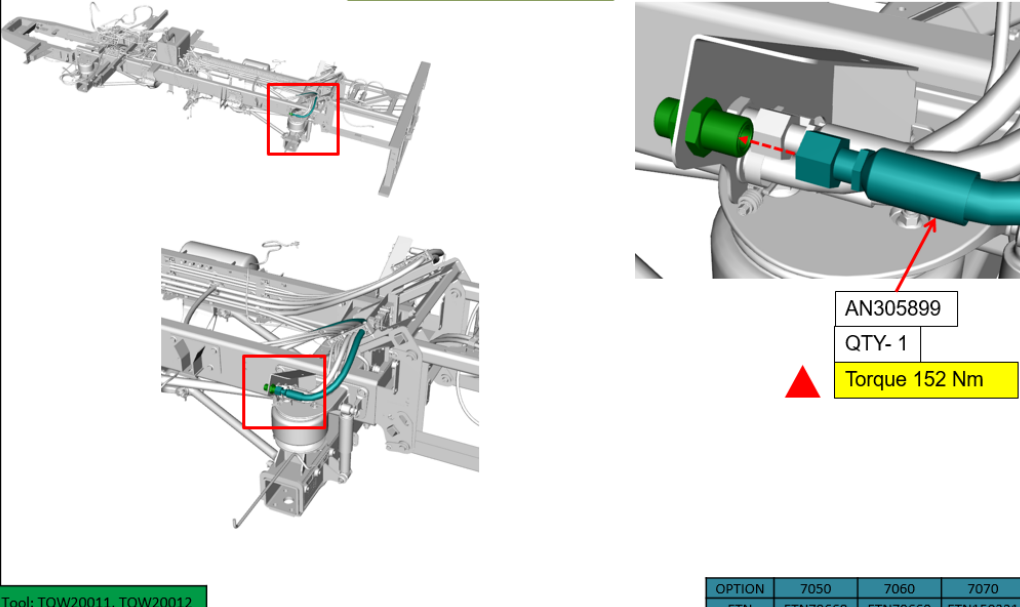
A Figura 2.8 traz uma representação gráfica de como devem ser criadas todas as instruções de trabalho, disponibilizadas nas estações e subestações de montagem dos pulverizadores autopropelidos:

Figura 2.8 – Modelo de uma Instrução de Trabalho, da Montagem.

Revision No: Date: 26-Oct-2017 Owner Racf ID: EC17160 Process: Engine Sub Product: Sprayer Model No: 4630	Obter (1) MANGUEIRA AN305899. Efetuar roteamento da mangueira, remover (1) tampão da mangueira, remover (1) tampão da conexão, inspecionar (1) anel O-ring, lubrificar, rosquear mangueira com a mão. Efetuar marcação com marcador branco, pegar torquímetro TQW20011 152 Nm - 1 3/8" e chave de apoio, efetuar torque, deixar ferramentas de lado.	<p>▲ TQC</p> <p>■ WORK CONTENT</p> <p>● VERIFY</p> <p>C82PM1500</p>
--	--	---

Follow Unit PPE Policy

**INSTALAR MONTAGEM**



AN305899

QTY- 1

▲ Torque 152 Nm

OPTION	7050	7060	7070
ETN	ETN79668	ETN79668	ETN150321

Tool: TQW20011, TQW20012

Fonte – Elaborado pelo próprio autor.

### 2.1.10 Implementações das ferramentas inteligentes no chão de fábrica

Nesse estágio, de fato realizaram-se efetivamente as implementações das ferramentas no chão de fábrica. Foi necessário criar um cronograma, o qual discriminava os postos e subposto da Montagem que seriam estruturados com as adoções das ferramentas inteligentes e controladores, no ciclo produtivo da XGreen S/A.

### 2.1.11 Desenvolvimento das lógicas de programação, no sistema de gerenciamento MES XGAAT

Nesse estágio, buscou-se criar todas as lógicas de programação, as quais traduzem para uma linguagem sistêmica e computacional, todas as informações contidas nas Instruções de Trabalho (OMS) conforme previamente explanado.

A XGreen S/A possui um centro de tecnologia que é responsável dentre outras atividades, pela criação dos códigos de programação, para as Instruções de trabalho.

Na Tabela 2.8, tem-se um exemplo de programações padrões, feitas para as inserções dos comandos nos controladores do sistema MES XGAAT, as quais a serão disponibilizadas nas estações e subestações de montagem dos pulverizadores autopropelidos.

Tabela 2.8 – Exemplos de programações feitas nos controladores do sistema MES XGAAT

Peça	Torquímetro	Controlador	Valor de Torque	Ponteira	Mensagem ao Operador
90031581	TQW10148	CH-PA110-SR01-G400MP-OP1	27	11/16"	* Obter (1) CONEXÃO 0090031581, retirar 1 tampão liso da conexão, inspecionar anel Oring, retirar 1 tampão rosqueável da redução, aplicar óleo no Oring, enroscar conexão com a mão, posicionar conexão, efetuar marcação com marcador branco, pegar torquímetro TQW10148 27 LB.FT-11/16 e efetuar torque, colocar ferramentas de lado.
90031581	TQW10148	CH-PA110-SR01-G400MP-OP1	27	11/16"	* Obter (1) CONEXÃO 0090031581, retirar 1 tampão liso da conexão, inspecionar anel Oring, retirar 1 tampão rosqueável da redução, aplicar óleo no Oring, enroscar conexão com a mão, posicionar conexão, efetuar marcação com marcador branco, pegar torquímetro TQW10148 27 LB.FT-11/16 e efetuar torque, colocar ferramentas de lado.
71303293	TQW10228	CH-PA110-SR01-G400MP-OP1	18	11/16"	* Obter (1) CONEXÃO 0071303293, retirar 1 tampão liso da conexão, inspecionar JIQ/Oring, retirar 1 tampão rosqueável do motor, aplicar óleo na conexão, efetuar roteamento da mangueira, enroscar conexão com a mão, efetuar marcação com marcador branco, pegar torquímetro TQW10228 18 LB.FT-11/16" e chave de apoio, efetuar torque, colocar ferramentas de lado.

### 2.1.12 Implementações finais das ferramentas inteligentes no chão de fábrica

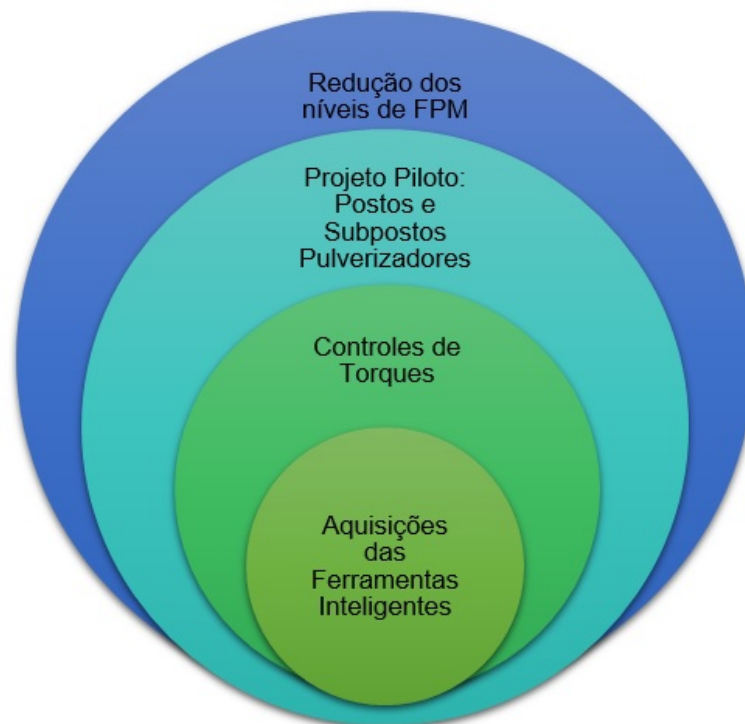
Nesse estágio, considerando-se todas ferramentas e controladores que por ventura, não puderam ser implementados num primeiro momento, teve-se a criação dessa nova etapa, objetivando a conclusão definitiva das implementações, das ferramentas faltantes. Aqui também necessitou-se criar um novo cronograma, o qual discriminava os postos e subposto da Montagem que seriam estruturados com as adoções das ferramentas inteligentes e controladores, no ciclo produtivo da XGreen S/A.

### 2.1.13 Estruturação da estratégia de implementação final das ferramentas e do gerenciador de torques XGAAT

Nesta etapa, realizou-se um alinhamento estratégico com as Lideranças de todas as áreas envolvidas da XGreen S/A, isto é: Engenharia de Manufatura, Operações, Qualidade, Meio Ambiente & Segurança, de modo a deixá-los na mesma página, para garantir que todos os envolvidos estivessem, de fato, cientes das alterações processuais realizadas no chão de fábrica e os passos seguintes, altamente necessários para a manutenção e propagação das inserções das ferramentas inteligentes, em todos os postos e subpostos de montagem, no âmbito da XGreen S/A.

Na Figura 2.9 tem-se uma representação gráfica da Estratégia Macro no âmbito da XGreen S/A no que tange às implementações das ferramentas inteligentes e do sistema MES XGAAT:

Figura 2.9 – Estratégia Macro das implementações.



Fonte – Elaborado pelo próprio autor.

### 2.1.14 Escopo do Trabalho

Uma vez definidas as questões de Pesquisa e esclarecida a relevância técnico-conceitual do assunto para empresas de manufatura de equipamentos e implementos agrícolas, tal qual a XGreen S/A, faz-se necessário definir as fronteiras consideradas para o desenvolvimento do presente estudo. A primeira delimitação considerada nesta Pesquisa está relacionada com a pré-definição dos postos de estudos, nas linhas de montagem dos pulverizadores auto-propelidos, no âmbito da XGreen S/A. Assim sendo, estão contidos no escopo deste projeto, os s postos PMA (PM50), PMB (PM52), PMC (PMJ) e PMD (PMJ), os quais correspondiam na época à 80% das não conformidades hidráulicas em mangueiras e conexões, nas linhas de montagens dos referidos postos. Isto significa que todos os outros postos e subpostos de montagem dos pulverizadores e das colhedoras de cana, encontram-se fora do espectro de estudo. Uma segunda delimitação para o escopo dessa Pesquisa advém da necessidade de estipular-se o Sistema de Produção o qual incidiu-se as implementações. Assim neste projeto, buscou-se adotar o Sistema de Produção Intensivos em Capital que caracterizam por exemplo, as fábricas de indústria de processo contínuo. Em tais indústrias, o foco na racionalização no uso de recursos é um fator crítico para a competitividade da empresa. Por último cabe-se frisar que o presente estudo focará nos indicadores específicos da área da Qualidade, isto é: FPM, IPQ e dos Custos de Garantia

## CAPITULO 3

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nessa seção, serão descritos os conceitos fundamentais empregados nessa dissertação, tais como: Tecnologia, Inovação, Gestão & Desenvolvimento de Produtos, Indústria 4.0, Manufacturing Execution System (MES) e XGAAT, respectivamente. Estes foram necessários para a estruturação deste projeto sobre a adoção das ferramentas inteligentes (conceitos oriundos da Indústria 4.0) e da Tecnologia de Informação (Sistema MES JDAAT) no chão de fábrica da XGreen S/A, com a finalidade de alcançar-se a Qualidade Distinta, na linha de produto, dos Pulverizadores Autopropelidos, planta de Catalão/GO.

#### 3.1 Indústria 4.0

A expressão Indústria 4.0, refere-se àquilo que vem sendo chamado do próximo estágio na evolução da organização e controle dos processos de fabricação. O termo Indústria 4.0 vem, na verdade, de um projeto financiado pelo governo alemão (FORSCHUNG, 2018). Essa terminologia tornou-se conhecida publicamente, em 2011, durante a Feira de *Hannover* de 2011 (KAGERMANN; LUKAS; WAHLSTER, 2011). Nesse sentido, a quarta revolução industrial, chamada de Indústria 4.0, é considerada, segundo alguns pesquisadores, o futuro padrão de sistemas de produção (KOLBERG; ZÜHLKE, 2015). A indústria manufatureira está, atualmente, sujeita à grandes mudanças. Essas, por sua vez, são ocasionadas por várias megatendências globais em curso, tais como: a globalização, a urbanização, à individualização e à mudança demográfica, as quais desafiarão consideravelmente todo o ambiente produtivo e de fabricação no futuro, conforme verificado por (BARTODZIEJ, 2017). Por um lado, o aumento das atividades empresariais, numa esfera global, aumentará a complexidade nas redes industriais. Em contrapartida, segundo estabeleceu (MERKEL *et al.*, 2017), os efeitos da demanda volátil e da customização de produtos irão influenciar os processos de produção e planejamento. Esses requisitos desafiantes irão forçar as em-

presas a adaptar sua abordagem de fabricação inteira, incluindo estrutura, processos e produtos. Diante desse contexto, a indústria manufatureira alemã, a qual sempre esteve na vanguarda do desenvolvimento e conhecimento industrial, apresentou ao mundo, em Janeiro de 2011, a sua iniciativa estratégica que ficou mundialmente conhecida como Indústria 4.0. Cabe-se frisar que esta iniciativa foi e é realizada com o subsídio e participações de organizações industriais, científicas (universidades e centros de pesquisa) e do próprio governo alemão. Segundo (BARTODZIEJ, 2017), essa medida foi adotada, em Novembro de 2011, como parte do Plano de Ação Estratégico de Alta Tecnologia 2020 (High-Tech Strategy 2020 Action Plan), o qual se encontra fundamentado em parâmetros técnicos, econômicos e sociopolíticos, com o objetivo de promover a mudança industrial. Há também o intuito de garantir a hegemonia tecnológica, pujança e competitividade do mercado e indústrias alemãs no mundo todo. O termo Indústria 4.0 pode ser entendido como a quarta revolução industrial. Esta etapa do processo de industrialização está ocorrendo como as três revoluções anteriores, isto é, dominadas por inovações técnicas. Enquanto a mecanização e a eletrificação dos processos de fabricação levaram às duas primeiras revoluções industriais, a terceira etapa caracterizou-se por um aumento da informatização e automação, o que vem atualmente transformando-se na quarta revolução industrial. As três primeiras revoluções industriais foram resultado da mecanização, eletricidade e tecnologia de informação. No contexto atual, a introdução da Internet das Coisas e Serviços no contexto da manufatura está lançando uma quarta revolução industrial (KAGERMANN *et al.*, 2013).



Figura 3.1 – Fábrica Inteligente da Siemens em Amberg, Alemanha.

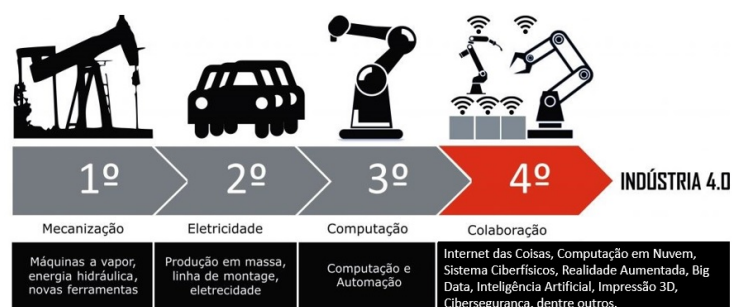
Fonte – (HESSMAN, 2013)

A Figura 3.2 mostra uma representação gráfica acerca da evolução tecnológica ao longo do tempo. Logo em seguida, há um descritivo cronológico (partindo-se da esquerda para a direita), o qual

permitirá destrinchar um pouco mais sobre os referidos estágios evolutivos, descritivo Cronológico das Revoluções Industriais:

- 1<sup>a</sup> Revolução Industrial (Final do Século XVIII): Introdução da máquina a vapor na manufatura;
- 2<sup>a</sup> Revolução Industrial (Início do Século XX): Introdução da energia elétrica na manufatura;
- 3<sup>a</sup> Revolução Industrial (Início da década de 70): Introdução da eletrônica e TI na automação da manufatura;
- 4<sup>a</sup> Revolução Industrial (Século XXI): Introdução dos conceitos de CPS e Internet das Coisas na manufatura.

Figura 3.2 – As revoluções industriais ao longo do tempo.



Fonte – Adaptado de (KAGERMANN *et al.*, 2013)

A Indústria 4.0 é marcada por uma integração técnica de sistemas ciberfísicos ou Cyber-Physical Systems (CPS), em processos de fabricação e logística, bem como o uso da Internet de Coisas e Serviços (IoTS), em processos industriais. As novas tecnologias terão um impacto diverso na criação de valor, organização do trabalho, serviços e modelos de negócios das empresas. Na vanguarda de todos os desenvolvimentos da Indústria 4.0, o conceito de fábrica inteligente ou Smart Factory desempenha um papel importante na definição da visão de uma nova era industrial. Na literatura atual e nas revistas científicas, os especialistas estão mencionando uma mudança de paradigma completa na fabricação. Dizem que um ambiente de produção descentralizado, auto-organizado e flexível, substituirá a hierarquia de produção clássica e controlada centralmente. Uma estratégia dupla está formando a base para aumentar o potencial de mercado alemão nesta área, objetivando-se implementar satisfatoriamente os ideais da referida "iniciativa estratégica".

A quarta revolução industrial, chamada de "Indústria 4.0", é considerada, segundo alguns pesquisadores, o futuro padrão de sistemas de produção (KOLBERG; ZÜHLKE, 2015). Isso porque a Indústria 4.0 transformará o projeto, a manufatura, a operação, o serviço de produtos e sistemas de produção. A manufatura será transformada de únicas "células" automatizadas para "células" inteiramente integradas. As fábricas comunicar-se-ão entre si, o que promoverá o aumento de Opcionais, da Customização de Produtos, da Velocidade, da Produtividade e da Qualidade.

Conforme proposto por (LASI *et al.*, 2014), Ning e Liu (2015), o conceito de 4ª Revolução Industrial, está fundamentado nos conceitos e tecnologias que incluem sistemas cibernéticos e a Internet das coisas (IoT) que permite uma interação contínua e troca de informações não só entre humanos (C2C) e/ou humano e máquina (C2M), mas também entre as próprias máquinas (M2M), (JOSHUA; ANNE, 2009).

Os pesquisadores Marolt, Pucihar e Zimmermann (2015), Dominici *et al.* (2016), Rodriguez e Trainor (2016) atestam que esta interação comunicacional influencia o estabelecimento da Gestão do Conhecimento 4.0 (Knowledge Management 4.0 - KM 4.0), ou seja, por meio dessa interação entre a Gestão do Relacionamento com o Cliente "Social"(sCRM), o CRM clássico, além das mídias sociais, cria-se um ambiente favorável para o fornecimento de valor agregado para as organizações e clientes Roblek *et al.* (2013).

É importante ressaltar que, na maioria dos casos, o intercâmbio de informações será entre as próprias máquinas. As máquinas estão transmitindo dados através de sensores sem fio e enviando esses dados para os centros provedores de serviços inteligentes, onde são analisadas grandes quantidades de dados.

De acordo com os pesquisadores Kagermann (2015) e Jie *et al.* (2015), a finalidade de tal automação é a adaptação individual, orientada para o cliente, de produtos e serviços que agregam valor para organizações e clientes. Os resultados serão demonstrados pelo controle permanente sobre a vida individual que permitirá o atendimento personalizado das necessidades dos clientes.

Esse fato contribuirá para uma melhor customização e ou oferta de produtos em tempo real a estes. Conseqüentemente, espera-se, com isso, ter a fidelização dos clientes, já que será estabelecida uma forte relação de confiança. Agindo dessa forma, muito provavelmente os mesmos encontrar-se-ão satisfeitos com os produtos e soluções ofertados pelas organizações ( Andersson e Mattsson (2015); Espejo e Dominici (2017)).

É válido ressaltar que o período da 4ª Revolução Industrial será marcado pelos processos completos de automação e digitalização e pela utilização de Tecnologias da Informação (TI) na fabricação e serviços em ambiente privado.

Segundo Sommer (2015), as conseqüências do desenvolvimento de tecnologias como a impressão 3D, de serviços de vendas on-line, como serviços de carro, exames médicos de casa e pedidos de alimentos, terão um impacto significativo nas mudanças, no âmbito das pequenas e médias empresas.

Através do desenvolvimento e interação de um dado indivíduo no uso de sistemas ciber-físicos, o IoT e a IoS - Internet de Serviços (IoS) , haverá o surgimento de mudanças no comportamento dos consumidores, como atestam (ESPEJO; DOMINICI, 2017).

As organizações precisam entender como os produtos de consumo, conectados ou serviços, podem servir como uma base de dados crítica para as empresas. Desse modo, as instituições poderão identificar algumas variáveis, tais como: as opiniões dos clientes, os fatores sociodemográficos e os psicológicos que influenciam em suas respectivas tomadas de decisão, quanto ao aumento do uso de

"produtos conectados".

Tomando-se como base os estudos de Court (2015), Rocco e Bush (2016), observa-se que as organizações da Indústria 4.0, que ainda não passaram do marketing convencional para o marketing de conteúdo, quanto às tecnologias conectadas à Internet, ainda estão em fase de desenvolvimento e introdução.

Os processos do KM 4.0 permitirão que os estrategistas de marketing aprimorem a precisão, obtenham conteúdos relevantes e valiosos dos clientes, os quais possibilitarão respondê-los em tempo real constantemente. Isso será executado sempre de forma intencional, objetivando-se assim promover a alteração ou o aprimoramento do comportamento do cliente. Consequentemente, as organizações de informação poderão preparar estratégias (por exemplo, desenvolvimentos de produtos ou serviços, estratégias de marketing) que os ajudarão a manter clientes os antigos e obter novos.

Tratando-se de Brasil, pode-se dizer que a Indústria 4.0 ainda está nos estágios iniciais de implementação, no que cerne o setor industrial e a própria Engenharia de Manufatura. Já na Alemanha, berço da quarta revolução industrial, governo, empresas, universidades e instituições de pesquisa estão atualmente tentando desenvolver fábricas "inteligentes" totalmente automatizadas e baseadas na Internet.

Um exemplo desse estágio inicial é a fábrica de Amberg, onde a maioria das unidades possui mais de 100.000 metros quadrados, capazes de buscar e montar componentes sem entrada humana (HES-SMAN, 2013). Por meio da Figura 3.1, pode-se ter uma ideia do grau de tecnologia e automação da referida fábrica, ou seja, esta trata da materialização do conceito de Fábrica Inteligente.

O governo alemão, por meio de sua política econômica, aporta vultosos investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento, a fim de garantir uma melhor competitividade técnica e financeira da manufatura industrial alemã frente aos seus concorrentes.

Espera-se alcançar, por meio desses esforços, combater o aumento dos custos de mão de obra nos países em desenvolvimento e do ressurgimento da indústria americana (WEBER, 2015). A União Europeia decidiu, por conseguinte, incentivar a investigação no domínio das tecnologias inteligentes.

### 3.2 Sistemas de Manufatura

Os sistemas de manufatura são concebidos para atender as demandas de produção, isto é, para transformar material e/ou processar informações na execução de uma ordem de produção. Um sistema de manufatura é composto por vários subsistemas que executam diferentes processos produtivos que, por sua vez, interagem de diferentes formas.

Um subsistema de um sistema de manufatura consiste de vários componentes, tais como máquinas de produção sistema de manuseio de material, sistemas computacionais e operadores humanos (GROOVER, 2007), (KOREN; SHPITALNI, 2010), (LEITÃO *et al.*, 2015).

A competitividade crescente no mercado globalizado e a necessidade de eficiência têm imposto mudanças nos sistemas de manufatura, exigindo maior flexibilidade, em diferentes aspectos, tais como o

volume de produção, o tipo de produto e/ou serviço e a natureza dos recursos envolvidos. Para considerar diferentes requisitos, os sistemas de manufatura são organizados de diferentes formas.

Os autores (MEHRABI; ULSOY; KOREN, 2000) relacionam estas formas de organização com os objetivos econômicos impostos pelo mercado para obter vantagens competitivas:

- Sistema de Manufatura em massa para obter redução de custos de Produto;
- Sistema de Manufatura enxuta para prover a qualidade do Produto;
- Sistema Reconfigurável de Manufatura (SRM) para assegurar a agilidade de adaptar o sistema às mudanças da planta industrial.

Outras formas de organização consideram uma combinação dos objetivos citados, tais como o sistema de manufatura, para a personalização em massa. Esse tipo de sistema considera a flexibilidade de oferecer uma vasta quantidade de famílias de produtos individualizados de acordo com as necessidades do cliente (TSENG; HU, 2014).

Observa-se que os sistemas de manufatura podem ser dispersos, sendo compostos por vários subsistemas em localizações geográficas diferentes que fornecem serviços específicos com certo grau de autonomia e com comunicação baseada na internet, onde cada subsistema encapsula um serviço ((GARCIA; MORALES; MIYAGI, 2008); (FATTORI *et al.*, 2011); (NAGORNY; COLOMBO; SCHMIDT-MANN, 2012)).

Tomando como referência a Tabela 3.1, pode-se perceber que a ascensão e a expansão da Indústria 4.0, com os seus respectivos conceitos fundamentais e atuais, baseiam-se na suposição de crescente urbanização global ((BACH; ZOROJA; VUKŠIĆ, 2013)).

Tabela 3.1 – Conceitos e significados tendo como contexto a Indústria 4.0

Fábricas Inteligentes	A fábrica inteligente será mais inteligente, flexível e dinâmica. As instalações fabris serão equipadas com sensores, atuadores e sistemas autônomos. Máquinas e equipamentos terão a capacidade de melhorar os Processos, através da auto-otimização e tomada de Decisão
Auto-Organização	Na manufatura, os processos mudarão em toda a cadeia de suprimentos e fabricação. Essas mudanças terão impacto na mudança de Processos, de fornecedores à Logística, passando pela gestão do ciclo de vida de um produto. Junto com todas essas mudanças, os Processos de fabricação estarão intimamente conectados. Essas mudanças nas cadeias de suprimento e fabricação exigirão uma maior descentralização dos sistemas de fabricação existentes.
Produtos Inteligentes	Os produtos são inseridos com sensores e microchips que permitem a comunicação através da Internet das Coisas (IoT), uns com os outros e com os seres humanos. Carros, camisetas, relógios, sabão em pó e assim por diante estão prestes a se tornar inteligentes, pois seus fabricantes anexam sensores à embalagem que podem detectar quando o produto está sendo usado e podem se comunicar com smartphones quando digitalizados. Produtos inteligentes estão provocando a questão da invasão da privacidade e, conseqüentemente, da segurança pessoal.
Sistemas Ciberfísicos	Os sistemas integrarão computação, rede e processos físicos. Computadores e redes incorporados monitoram e controlam os processos físicos, com ciclos de feedback nos quais processos físicos afetam as computações e vice-versa. Um exemplo é o controle de funções humanas vitais que permitem cuidados de saúde urgentes, aplicações móveis, sensores em roupas e em câmeras de vigilância em apartamentos.
Cidades Inteligentes	Cidade inteligente é definida como um espaço que compreende seis fatores em sua política de desenvolvimento: economia, mobilidade, ambiente, pessoas, vida e governança inteligentes. É o produto do desenvolvimento acelerado da nova geração de TI e economia baseada no conhecimento, com base na combinação de rede de Internet, de telecomunicações, de transmissão, de banda larga sem fio e outras de sensores com o IoT.
Sustentabilidade Digital	Sustentabilidade e eficiência de recursos estão cada vez mais no foco do design de cidades inteligentes e fábricas inteligentes. É necessário respeitar as regras éticas e informações privadas. Esses fatores são condições estruturais e fundamentais para produtos de sucesso.

### 3.3 Aplicações na era da Indústria 4.0

O termo foi recebido com entusiasmo pela indústria mundial (DRATH; HORCH, 2014) e sobrepõe-se em partes, com outros paradigmas como a Internet Industrial das Coisas (IoT) (XU; HE; LI, 2014) e com outras iniciativas como Made in China 2025 (CSIS, 2017). Além disso, a Indústria 4.0 está diretamente relacionada à implantação de fábricas inteligentes (MUNERA *et al.*, 2015), concebidas para gerir de forma mais eficiente os seus recursos e incorporar flexibilidade suficiente para se adaptar às necessidades de produção.

A tal necessidade de flexibilidade está associada ao fato de que os clientes estão cada vez mais exigentes na personalização de produtos (XIONG *et al.*, 2018). Este fato, impacta o desenvolvimento e fabricação em diferentes estágios (por exemplo, design, pedido, desenvolvimento, produção, venda, pós-venda ou reciclagem).

Um dos princípios da Indústria 4.0 é coletar, o máximo possível informações em tempo real, a partir de todas as diferentes partes da cadeia de valor. Além disso, a coleta de dados deve ser tão eficiente, rápida e flexível quanto possível, o que envolve coleta e análise de dados com máquinas computadorizadas, as quais também ajudem a diminuir os Custos de Produção e aumentar a Qualidade. Para alcançar tais melhorias, os sistemas Internet Industrial das Coisas (IoT) e Sistemas *Cyber*-Físicos (CPSs) são essenciais, pois permitem coletar, processar e armazenar os dados obtidos em objetos do mundo real. Além disso, tais sistemas são capazes de localizar e rastrear itens (FRAGA-LAMAS *et al.*, 2016; FRAGA-LAMAS *et al.*, 2017b; FRAGA-LAMAS *et al.*, 2017a) e trocar dados entre as diferentes estações de trabalho e não apenas dentro da fábrica, mas também com fornecedores, clientes e *front office* (ou seja, os responsáveis pela tomada de decisões da empresa).

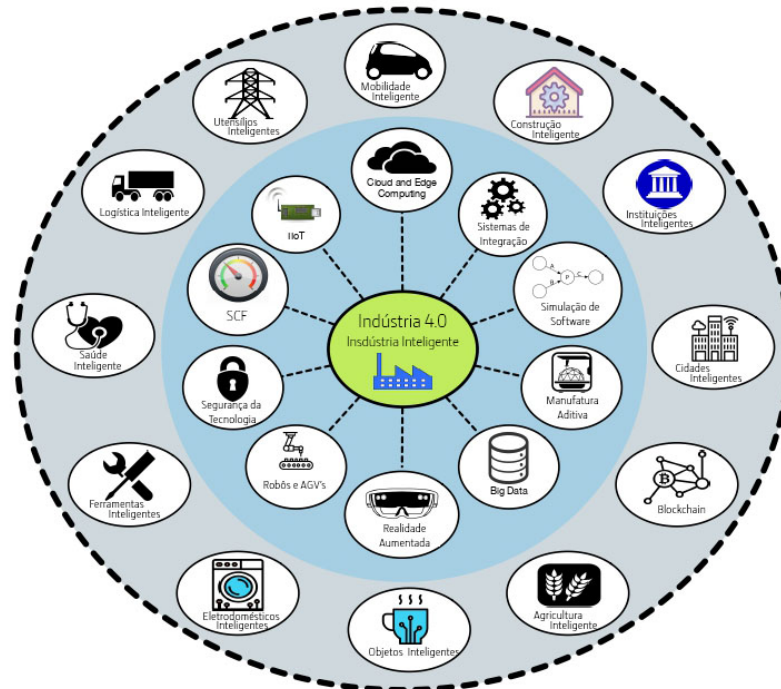
Adicionando inteligência às máquinas, ferramentas, áreas de armazenamento ou matérias-primas de uma cadeia de produção, é possível adaptar o fábrica para eventuais mudanças, proporcionando-lhe assim uma maior flexibilidade para atender aos requisitos do cliente. Além disso, essa flexibilidade permite fabricação de produtos altamente personalizados e adaptando-os a demanda real, evitando o armazenamento de estoque em excesso ou sua escassez.

Para alcançar todos os benefícios anteriores, a Indústria 4.0 propõe o uso de diferentes tecnologias. Algumas delas foram estudadas por um longo tempo (SUTHERLAND, 1965), (SUTHERLAND, 1968), mas elas ainda não estão maduras o suficiente, para uma implantação industrial maciça, como a Realidade Aumentada (AR), (BLANCO-NOVOA *et al.*, 2018), (FRAGA-LAMAS *et al.*, 2018). Não obstante, o que torna tais tecnologias disruptivas é o fato de que os dispositivos processados na era da Indústria 4.0, são capazes de comunicar-se entre eles autonomamente, permitindo que eles coordenem-se entre si e com outros sistemas remotos na Internet.

### 3.3.1 Principais Tecnologias na Era da Indústria 4.0

A implementação dos princípios da Indústria 4.0 requer a integração das tecnologias descritas nas próximas subseções, conforme ilustrado na Figura 3.3, que ilustra também algumas áreas que a Indústria 4.0 impactará. Dentre os vários tipos de cenários, podem-se citar: saúde, cidades, utilitários ou logística inteligentes.

Figura 3.3 – Tecnologias da Indústria 4.0 e campos relacionados



Fonte – Adaptado de (FERNÁNDEZ-CARAMÉS; FRAGA-LAMAS, 2018)

1. **IoT:** Internet Industrial das Coisas, segundo os pesquisadores Blanco-Novoa *et al.* (2017), Fernández-Caramés (2015), Suárez-Albela *et al.* (2016), Pérez-Expósito *et al.* (2017), é uma nova terminologia que vem sendo empregada em ambientes industriais. Assim sendo, isso implica na implantação maciça de sensores industriais, atuadores e máquinas com capacidades de sensoriamento remoto/atuação Wang *et al.* (2015), Shu *et al.* (2017), Fraga-Lamas *et al.* (2016).
2. **CPS:** Um CPS pode ser definido como um sistema com processamento, armazenamento e capacidades de comunicação que é capaz de controlar um ou mais processos físicos. Tais sistemas são geralmente interconectados uns com os outros ou através da Internet, o que descentraliza a análise de dados e a tomada de decisões, permitindo-se assim respostas em tempo real Harrison, Vera e Ahmad (2016), Wollschlaeger, Sauter e Jasperneite (2017), Klötzer, Weißenborn e Pflaum (2017).
3. **Sistemas de Integração vertical e Horizontal:** Como já foi mencionado anteriormente, os sistemas de integração horizontal e vertical, são fundamentais para a Indústria 4.0, a fim de automati-

zarem a transmissão de dados em fábricas inteligentes e para o estabelecimento da Comunicação com provedores de solução/serviços e clientes. Portanto, softwares como o (MES), Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto (PLM), plataformas Planejamento de Recursos Empresariais (ERP) e IoT terão que evoluir para fornecerem a integração necessária.

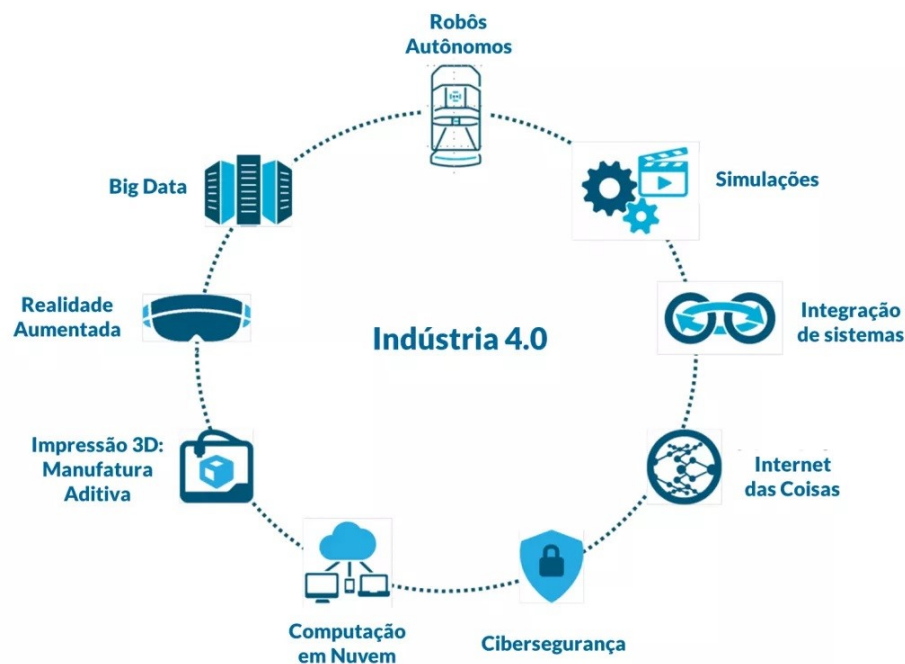
4. **Manufatura Aditiva (Impressão 3D):** A flexibilidade e personalização trazidas pela manufatura aditiva são essenciais no paradigma da Indústria 4.0. Idealmente, tais características devem ser fornecidas sem aumentar o preço do produto e não deveria depender do fato dos produtos a serem fabricados ser idênticos ou diferentes. Além disso, a fabricação aditiva facilitará a produção de lotes ou protótipos de baixo volume, reduzindo o tempo de entrega e permitindo a otimização do gerenciamento de estoques.
5. **Big Data & Data Analytics:** As empresas geralmente armazenam muitos dados relacionados a processos e sistemas logísticos, serviços (por exemplo, vendas, pós-venda) ou tráfego de dados (logs de roteadores e computadores). A grande quantidade de dados gerados é realmente valiosa, mas eles não podem ser processados manualmente, portanto, as técnicas de Big Data, surgem como uma ferramenta valiosa, para tratá-los. Além disso, a análise de dados ajuda no processamento da informação, sendo capaz de prever problemas futuros ou mesmo de provisionar a necessidade de certos recursos.
6. **Cibersegurança:** A conectividade é essencial nos aplicativos inerentes à Indústria 4.0. Em função disso, se faz necessário proteger-se os sistemas críticos industriais e as linhas de fabricação, de prováveis ataques cibernéticos, cujo os impactos e as incidências têm crescido notavelmente nos últimos anos (HUR *et al.*, 2017). Portanto, é fundamental fornecer comunicações seguras e confiáveis, autenticação de sistemas e preservar a privacidade de dados, a fim de evitar ataques desta natureza Suárez-Albela *et al.* (2017), Fraga-Lamas e Fernández-Caramés (2017), Fernández-Caramés *et al.* (2017), Fernández-Caramés *et al.* (2017).
7. **Computação em nuvem:** Muitas empresas já estão implantando aplicativos, em sistemas de computação na nuvem, os quais são fomentados pela Indústria 4.0 em parte porque facilitam a colaboração com terceiros. No entanto, observa-se que os sistemas tradicionais baseados em nuvem, possuem certas limitações (KSHETRI, 2017), tais como: Manutenção e ou Servicibilidade, problemas de software ou ataques cibernéticos. Além disso, é importante se enfatizar que, caso a quantidade de conexões conectadas à dispositivos IoT continuem crescendo na mesma proporção (GARTNER, 2019), a quantidade das informações a serem tratadas aumentarão notavelmente e portanto, a nuvem pode constituir-se num gargalo. Supondo que esses entraves sejam vencidos, outras alternativas de arquiteturas, baseadas em computação na nuvem foram propostas, conforme apresentado por (BONOMI *et al.*, 2012) e *cloudlets* (DOLUI; DATTA, 2017).
8. **Software de Simulação:** As informações coletadas podem ser processadas para modelar o comportamento de máquinas, produtos e trabalhadores, de certos processos industriais. Tais informações podem ser usadas para alimentar um software que permita simular cenários futuros, a fim de

determinar-se a demanda, prever problemas, reduzir os custos de configuração custos e melhorar a qualidade. Este tipo de software também é relacionado ao conceito de *Digital Twin* (QI; TAO, 2018), o qual representa a situação real em uma fábrica do mundo real através de interfaces visuais que permite monitoramento remoto e supervisão de operações.

9. **Veículos e Robôs Autônomos:** A próxima geração de robôs que serão usados nas aplicações da Indústria 4.0, incluem *cobots* (AKELLA *et al.*, 1999), robôs industriais (ROBLA-GÓMEZ *et al.*, 2017) e Veículos Terrestres Autônomos (AGVs) (ANDREASSON *et al.*, 2015), que podem ser interligados e trabalham de forma colaborativa. *Cobots* ajudam operadores humanos em diferentes tarefas, enquanto robôs podem executar determinadas tarefas específicas, como pesquisar itens ou transportar ferramentas de forma autônoma. Em relação aos AGVs, eles são principalmente direcionados para logística e transporte em ambientes industriais. Como exemplo, podem ser citados os AGVs existentes para mineração (AB, 2017), manuseio de materiais (KOLLMORGEN., 2018) ou os usados para automatização de veículos industriais (FERNÁNDEZ-CARAMÉS; FRAGALAMAS, 2018).
10. **Realidade Aumentada e Virtual:** Realidade Aumentada (RA) é uma tecnologia que faz uso de um dispositivo eletrônico para visualizar, direta ou indiretamente, um ambiente físico do mundo real que é combinado com elementos virtuais. No caso de Realidade Virtual (RV), tanto o ambiente e os elementos são virtuais. RA e RV progrediram muito nos últimos anos e elas provaram ser úteis em diferentes fases de um dado processo industrial, tais como: design (Cave, 2016), (SCHNEIDER; RAMBACH; STRICKER, 2017), fabricação (BOUD; BABER; STEINER, 2000), (SHIN *et al.*, 2014) ou manutenção (QING, 2010), (ALEKSY *et al.*, 2014). Na verdade, tem sido demonstrado que tecnologias como RA podem ajudar os operadores a evitarem erros e aumentar a produtividade (LOCH; QUINT; BRISHTEL, 2016).

Como é apresentado na Figura 3.4, na Indústria 4.0, novas tecnologias devem ser empregadas para integrar máquinas e humanos em cadeias de valor. Desse modo, compõe-se uma rede de entidades, na qual estas podem ser plantas industriais geograficamente distribuídas e dispersas e devem fornecer produtos e/ou serviços de forma autônoma, atendendo os objetivos globais do sistema produtivo.

Figura 3.4 – Novos tipos de tecnologias atreladas a Indústria 4.0



Fonte – Adaptado de (KOLBERG; ZÜHLKE, 2015)

### 3.4 Um modelo inteligente na era da Indústria 4.0: Sistema de Etiquetas

#### 3.4.1 Etiquetas Inteligentes: Principais desafios

A Indústria 4.0 enfrenta quatro desafios principais para sua implantação (SCHLAEPFER; KOC, 2015). A seguir apresentar-se-á os quatros desafios que segundo o entendimento de muitos pesquisadores, são preponderantes para a correta estruturação da Indústria 4.0:

- Há um forte apelo no que tange a criação de redes para integrar Sistemas de produção inteligentes verticalmente. Assim, os dados são transmitidos automaticamente dos sistemas fabris para outras partes importantes da cadeia de valor, tais como: design, manufatura enxuta, logística e serviços de vendas.
- A integração horizontal de empresas, ou seja, a promoção de uma forte integração entre os fabricantes, os fornecedores e os clientes finais, visando-se assim uma melhor cooperação entre todos esses agentes. Este tipo de integração permite a criação rápida e flexível de redes, as quais forneçam tempos de resposta reduzidos. No caso da integração de clientes com empresas, será grandemente melhorada através do uso de dispositivos IoT e redes sociais. Além disso, tecnologias como *block-chain* (FERNÁNDEZ-CARAMÉS; FRAGA-LAMAS, 2018) ou (DAG) (ZHANG; CHEN; MO, 2017) fornecerão acessos à todas as informações, contudo de uma forma descentralizada, para todos

os colaboradores. Obviamente, com a dependência de redes, a segurança cibernética será essencial, especialmente ao proteger infraestruturas críticas (FRAGA-LAMAS; FERNÁNDEZ-CARAMÉS; CASTEDO, 2017), (FRAGA-LAMAS, 2017).

- A integração de design e engenharia em toda a cadeia de valor. A coleta de dados em tempo real permite que os designers e engenheiros tenham subsídios para uma reação rápida e eventual tomada de decisão, de modo que a otimização e fluxo de customização possam ser executados continuamente.
- A introdução de novas tecnologias. Trabalhadores qualificados terão que interagir e também serem treinados para usar os CPSs, em outras palavras, esse fato imporá que a interação homem-máquina tradicional mude notavelmente e que as empresas tenham que se adaptar ao uso de novas tecnologias.

### 3.4.2 Sistema Tradicional de Rotulagem versus Etiquetas Inteligentes

Existem várias tecnologias de rotulagem que podem ser usadas para a identificação automática de produtos industriais. A maioria delas é embasada nos códigos de barras, os quais são basicamente uma representação visual dos códigos (GTIN) mencionados anteriormente.

Os códigos de barras exigem Linha de Visão - (LoS) para lê-los corretamente com leitores de código de barras. Além disso, eles exigem uma distância de leitura relativamente curta (até algumas dezenas de centímetros). Eles têm sido muito úteis em muitas aplicações industriais, pois ajudaram a aumentar a identificação de itens, dadas à sua velocidade de trabalho, a qual é notavelmente superior, quando comparado ao processo feito manualmente.

Além disso, os códigos de barras são realmente baratos e só requerem um software de geração de código de barras e uma impressora para iniciar a rotulagem dos objetos. Embora no cenário de identificação automática representado pelos códigos de barras da Indústria 4.0 possam parecer desnecessários, eles ainda podem ser úteis em certas situações onde exigem-se custos reduzidos, distâncias curtas de leitura ou locais de leitura muito específicos.

A evolução dos códigos de barras deu-se dos códigos bidimensionais ditos Bidimensional (BIDI) (LoS) para Quick Response (QR), originados no Japão em 1994 para codificar os caracteres Kanji e Kana. Ao contrário dos códigos de barras, os códigos QR são capazes de armazenar certos dados (geralmente mais de 1.800 caracteres), embora seu processamento seja mais complexo.

Porém, as leituras podem ser realizadas com uma câmera de *smartphone*, o que reduz a necessidade de equipamentos especiais. A distância de leitura do código QR depende do tamanho do código: como uma regra geral, é geralmente considerado que a distância de escaneamento é de aproximadamente dez vezes a diagonal do código (QR).

Códigos de barra e códigos QR são geralmente utilizados em aplicativos de inventário, para rastreamento de peças ou em procedimentos administrativos, mas sua distância de leitura é limitada pela

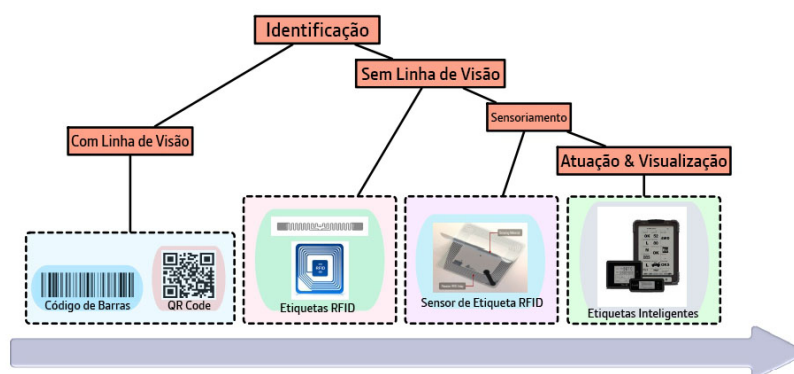
necessidade de visão, eles não permitem a interação com itens e obviamente não são com os quais eles estão ligados.

Devido em partes, às tais limitações, as etiquetas tradicionais evoluíram para a tecnologia RFID (FINKENZELLER; HANDBOOK, 2003), as quais permitem a leitura de um número de identificação em certa distância (de vários centímetros a metros) e em alguns casos, de algumas informações incorporadas.

No entanto, o conceito por trás das etiquetas RFID, embora válido para muitas situações é semelhante às etiquetas tradicionais: a etiqueta é apenas uma portadora de dados ou fornece um link para as informações necessárias que uma vez armazenadas digitalmente, podem ser alteradas dinamicamente em algumas circunstâncias (ou seja, quando as etiquetas estão no campo de um leitor ou modificando um banco de dados remoto). Além disso, as etiquetas RFID comerciais mais atuais não coletam dados de sensores e não permitem a interação humana (exceto para modelos específicos, como as etiquetas *Omni-ID Power 60 e 65* (FERNÁNDEZ-CARAMÉS; FRAGA-LAMAS, 2018)).

Conforme apresentado na Figura 3.5, tem-se uma representação da evolução das tecnologias de rotulagem até a chegada de Etiquetas Inteligentes.

Figura 3.5 – Evolução da tecnologia de rotulagem industrial



Fonte – Adaptado de (FERNÁNDEZ-CARAMÉS; FRAGA-LAMAS, 2018)

A maioria das empresas ainda usam etiquetas baratas de papel ou plástico que contenham texto puro, código de barras ou um código QR. Apesar de serem baratas, esses tipos de etiquetas precisam ser atualizadas manualmente, as informações são estáticas (embora possam ser vinculadas a um banco de dados remoto). Além disso, não podem ser usadas para receber aportes de dados, provenientes dos operários ou de sensores, não podem ser usadas para posicionamento dinâmico remoto (na maioria dos casos, os trabalhadores ou robôs, os leem manualmente, então sua posição está ligada ao local de leitura) e elas devem ser removidas e jogadas fora quando considera-se que as mesmas não sejam mais válidas para o item (na verdade, é comum colocar uma etiqueta específica apenas para um processo ou subgrupo de processos específicos durante o estágio de fabricação).

Três exemplos práticos sobre a cadeia de valor da Indústria 4.0 podem ser dados a fim de enfatizar as limitações do tradicional sistema de rotulagem:

- Em uma fábrica inteligente, no contexto da Indústria 4.0 (ou seja, uma fábrica flexível e totalmente conectada, podendo fazer uso de fluxos constantes dos dados provenientes da Operações e dos Sistemas de Produção), a maioria das tarefas de fabricação serão executadas automaticamente, mas as tarefas a serem executadas por humanos requerem algum tipo de documentação (FRAGA-LAMAS *et al.*, 2016). Tal documentação é normalmente anexada ao Produto, seja impressa em papel ou acessível em formato digital através de um dispositivo usado por um operário (por exemplo, um computador, *tablet* ou *smartphone*) lendo a etiqueta. No entanto, a abordagem mais rápida seria indicar dinamicamente as tarefas a serem executadas (por exemplo, o procedimento de fabricação, o processo de montagem ou os requisitos de Qualidade) e suas características (por exemplo, prioridade, prazo, próxima fase de fábrica) na etiqueta colada ao produto, sem exigir interação adicional.
- No varejo, os preços podem flutuar dinamicamente em tempo real, ao longo do dia. No entanto, as etiquetas tradicionais não mostram mais do que os preços impressos. Portanto, mais e mais varejistas começaram nos últimos anos a usarem etiquetas inteligentes com *displays* digitais para indicar os preços para os consumidores, que podem ser atualizados dinamicamente e remotamente.
- Em fábricas inteligentes ou em Logística, muitas tarefas de gerenciamento de produtos, já são realizadas através de algum tipo de software conectado, mas as etiquetas ainda são preparadas e impressas manualmente o que retarda determinados processos.

Essa interação inteligente pode ser realizada de duas maneiras:

- I. O primeiro consiste em interagir diretamente com os produtos e ou peças, caso os mesmos já tenham incorporados os hardwares e ou softwares necessários. No entanto, todo o hardware e ou software geralmente não são operativos até o último estágio da montagem, assim é necessário ter-se uma segunda abordagem, ou seja, adicionar um hardware e ou um software externo e temporário, através de uma etiqueta convencional ou etiqueta inteligente;
- II. Já uma segunda abordagem transforma meros itens unitários, em itens inteligentes. Nessa modalidade, acredita-se ser mais apropriado fazê-lo durante a fabricação do produto, contudo em alguns casos, pode ser aplicado após o produto ter sido vendido.

O desdobramento mais relevante que surgiu, foi que as Etiquetas Inteligentes permitem uma operação autônoma e que não requer a intervenção humana na maioria dos cenários. Esta autonomia é essencial no âmbito de uma fábrica inteligente, no contexto da Indústria 4.0, onde as etiquetas tradicionais não são apropriadas devido à memorização automatizada esperada de dados e coordenação com outros sistemas.

Além disso, quando os princípios da IIoT são aplicados em objetos anexados às etiquetas inteligentes, eles podem ser identificados remotamente e descoberto por outros sistemas, o que lhes permitem reagir à sua presença, desencadeando eventos específicos ou realizando uma série de ações sobre eles. A

quantidade de interações possíveis é infinita e fornece cenários industriais sem precedentes, onde objetos podem conversar com outros objetos, máquinas, computadores remotos ou operários.

Portanto, um gerente de fábrica inteligente pode enviar informações para etiquetas inteligentes, através de canais de comunicação sem fio, de um local remoto e receber dados de tais etiquetas. Estas operações são realizadas a partir de um sistema com uma central inteligente, a qual é capaz de gerenciar dezenas de milhares de etiquetas simultaneamente.

Isso implica que os operários ou usuários de etiquetas inteligentes no geral, não precisarão verificar, imprimir, substituir etiquetas de papel ou etiquetas de plástico. Além disso, através da adoção desse tipo de tecnologia, é esperado ter uma redução no que tange aos custos operacionais e na quantidade de eventuais erros, ocasionados por manipulação manual.

Um exemplo típico de etiquetas inteligentes e popular, são aquelas conhecidas como Etiquetas de Prateleira Eletrônica (ESLs), as quais são usadas em supermercados para indicar preços. Embora o design de uma ESL tenha permanecido basicamente o mesmo nos últimos anos (XU; LI, 2013), alguns pesquisadores sugeriram melhorias como a adição de recursos de captação de energia (MIL *et al.*, 2010), aprimorando os protocolos de comunicação (ZHOU *et al.*, 2013), substituindo o transceptor de rádio ESL.

Com um módulo de comunicação leve (HONG *et al.*, 2008; BARRACA; ALVES; FIGUEIREDO, 2014; PARK; JANG, 2016), melhorando a eficiência energética com a tecnologia WSN (WANG; HU, 2013) ou criando uma estrutura para gerenciar ESLs heterogêneas (KAHL, 2013).

As etiquetas inteligentes também podem ser usadas para fornecer inteligência aos objetos do dia a dia. Por exemplo, a Nokia liderou um projeto (OLIVER *et al.*, 2009) que propunha o uso de etiquetas inteligentes RFID passivas com grandes memórias não voláteis que seriam colocadas em espaços públicos.

Os usuários se comunicariam com as mesmas por meio de seus *smartphones*, podendo interagir com o ambiente. Observe que essa abordagem difere dos sistemas tradicionais de RFID, em que os dados são armazenados em bancos de dados remotos.

Além disso, como as etiquetas inteligentes não trocam dados entre si, os usuários são aqueles que transportam as informações de um lugar para outro, evitando a necessidade de manter objetos conectados continuamente a uma rede IoT. Essa abordagem pode ser útil em locais da fábrica onde não há acesso à rede, mas é necessário obter ou escrever informações sobre determinados itens.

As duas próximas seções, tratam de dois assuntos que serão utilizados pelo estudo de caso desse trabalho, o Sistema de Execução de Fabricação (MES) e o MES XGAAT (X Green Assembly-Assist Tool).

### **3.5 Sistema de Execução de Fabricação (MES)**

Aqui são abordados os principais conceitos inerentes ao Sistema de Execução de Fabricação (MES), de modo a prover ao leitor dessa obra, o conhecimento necessário para a correta compreensão, acerca dos efeitos deste durante a estruturação e implementação das ferramentas inteligentes no chão da

fábrica da XGreen S/A.

O Sistema de Execução de Fabricação (MES) é um sistema intermediário entre os Sistemas de Controle Industrial (ICS) e aplicativos corporativos, tais como o Planejamento dos Recursos da Empresa (ERP). Uma descrição detalhada das funções do MES pode ser encontrada na norma ISA 95 (Norma Nacional Americana, 2005), a qual está baseada em uma estrutura de três níveis: Gerenciamento Corporativo, Sistema de Operação de Manufatura (MOS) MES/MOM e Nível de Controle de Processos.

A referida Norma define, na 3ª parte, as interfaces necessárias para a interação com o nível de controle de processos, tão bem como para a integração de sistemas de gerenciamento corporativo e sistemas de controle de processos, nas seguintes atividades: execução de processos, gerenciamento de definições, coleta de dados, despacho, análise e gerenciamento de recursos, agendamento detalhado e rastreamento.

Através dessa integração, o modelo MES oferece vantagens significativas em comparação com o modelo clássico de fabricação. Primeiro, o MES/MOM melhora a transparência dos dados de fabricação. Os dados do sensor podem ser usados para calcular os (KPIs) de produção em tempo real ou para monitorar o status das máquinas e a qualidade do processo de fabricação.

A integração com dados corporativos dá sentido a essas informações, relacionando-as a produtos e ativos específicos, fornecendo a capacidade de mapear o fluxo de valor da empresa em tempo real. Esta informação melhora a capacidade de resposta da organização para detectar problemas e eventos não planejados, tornando-se capaz de corrigir erros e adaptar-se à demanda mais rapidamente.

Esta integração vertical promove o trabalho em rede entre o nível tático e o nível operacional, incentivando a cooperação entre empresas e permitindo uma troca de informações mais rápida e mais eficaz entre os níveis. De acordo com Kletti (2007), os sistemas MES podem ser considerados como sistemas de suporte à decisão. Estes são desenvolvidos a partir de disciplinas clássicas, como aquisição de dados de Produção, registro de tempo de trabalho do operador ou garantia de Qualidade.

Além disso, a Associação de Soluções de Execução de Manufatura (MESA) define doze grupos de funções que são necessários para um suporte de decisão eficaz do gerenciamento de produção:

1. Planejamento detalhado;
2. Gerenciamento de Recursos;
3. Registro e exibição do status atual dos Recursos;
4. Gestão de Documentos;
5. Gestão de Materiais,
6. Análise de Desempenho;
7. Gestão de Pedidos;
8. Gestão da Manutenção;

### 3.6 MES XGAAT (X Green Assembly-Assist Tool)

Com base no que foi exposto nas seções anteriores, será introduzido no contexto o sistema MES, utilizado no âmbito da XGreen S/A, isto é, o (XGAAT), o qual possui as características descritas a seguir. O XGAAT, trata-se de um Aplicativo de software que é composto por dois componentes principais:

1. **Interface do Sistema Operante:** esta ferramenta serve como um auxílio durante o Processo da Execução da Montagem, fornecendo instruções de nível de estações e subestações de montagem ao obter características-chave das ferramentas e sistemas de montagem. Na Figura 3.6, pode-se visualizar a tela disponibilizada pelo sistema para o acompanhamento da entrada de um componente, nos postos e subpostos de montagem da XGreen S/A. Através desse recurso é possível realizar-se uma rastreio de um dado item e ou componente, durante todo o ciclo produtivo.

Figura 3.6 – Tela de Rastreio, para um dado produto, item e ou componente, conforme mostrado na coluna “**Assembly**” e “**Name Posfix**”.

Product Tracking

Department: 541

Station: Op 60x00 - PTO Mount

Enter Edit Mode

**Work-In-Progress**

Assembly Name	Name Postfix	Entry Time	Last Modified Time
14002728706	PTO Sub-Assem...	19/08/2018 9:59:25 AM	19/08/2018 1:22:35 PM

**Scheduled**

Assembly	Name Postfix	Entry Time	Last Modified Time	On Hold
R0T7500223395	Mannheim Trans..	19/08/2018 1:10:54 PM	19/08/2018 1:17:04 PM	
14002726194	PTO Sub-Assem.	19/08/2018 9:59:52 PM	19/08/2018 1:16:50 PM	
14002726747	PTO Sub-Assem.	19/08/2018 9:29:24 AM	19/08/2018 12:52:52 PM	
14002728707	PTO Sub-Assem..	19/08/2018 10:35:24 AM	19/08/2018 1:19:22 PM	

Selected Assembly Tracking Data

Assembly Data

Assembly

Keyword

Data Value  Requires a Numeric Value

Add New Keyword Remove From WIP

**Selected Assembly Functions**

Change Hold Delete Move To:

**General Assembly Functions**

Add to Scheduled Locate Exit

Fonte – Elaborado pelo próprio autor.

2. **Interface de Administração/Manutenção do Sistema:** uma ferramenta de configuração que permite que o pessoal de suporte técnico gerencie vários componentes de um dado posto ou subposto,

além de possibilitar a definição de estações & subestações de montagem, fluxo de processos, interação de ferramenta e regras de programação. Um computador do centro de trabalho executa a Interface Operante do sistema, para uma estação que foi criada e configurada, usando-se Administração/Manutenção do Sistema. Um computador do centro de trabalho executa a Interface do sistema operante para uma estação que foi criada e configurada, usando-se a interface de Administração/Manutenção do Sistema.

### 3.7 Funcionalidades do MES XGAAT

Dentre as funcionalidades do MES XGAAT, citam-se:

1. **Assistência durante o Processo de Montagem:** pesquisa da Interface de Pedidos de Produção (POI) para determinar partes/etapas/cálculos necessários na estação para a unidade que está sendo construída; Execução das tarefas necessárias para controlar a sequência e garantir que a montagem atenda aos parâmetros de fabricação; Os arquivos referentes às Instruções de Trabalho (OMS) podem ser carregados para auxiliar ainda mais na realização dos processos de montagem; Usar-se-á dados para determinar situações fora de especificação e para a realização de cálculos que de outra forma seriam feitos manualmente;
2. **Recuperação/Armazenamento de Dados:** reúne dados de medidores, controladores de torque, máquinas de arrasto, unidades de teste de ar, PLCs e registro de entrada do operador. Armazena dados em um banco de dados relacional que pode ser usado pela XGreen S/A, com o intuito de customizar produtos aos seus respectivos clientes.

Em fábricas tradicionais, a comunicação entre um produto e os diferentes operadores que atuam na cadeia de valor é geralmente lenta e ineficiente. Por exemplo, quando um designer ou engenheiro dá instruções aos montadores e ou operários, sobre como montar um novo produto, é realmente difícil atualizar essas instruções de forma dinâmica. Então, a solução usual consiste na realização de comunicações direta entre os designers/engenheiros e os trabalhadores do chão de fábrica. Outro problema comum em fábricas tradicionais é a falta de uma rastreabilidade total do produto. Em muitos casos operadores não sabem exatamente em qual estágio de fabricação o produto está ou onde encontra-se fisicamente.

Esta falta de rastreabilidade resulta em ineficiências e na ausência de conhecimento sobre quais tarefas estão realmente sendo executadas ou se foram executadas na fábrica em instantes de tempo específicos. Na verdade, também é comum não saber em tempo real quais produtos estão prontos para serem enviados para a próxima etapa, dentro do ciclo produtivo.

O design centrado no ser humano (STANDARDIZATION, 2010) é uma abordagem ao projeto e desenvolvimento de sistemas que visam tornar os sistemas interativos e mais úteis, concentrando-se em seu uso pelos operadores e seus requisitos dentro de um ambiente industrial colaborativo. Esta abordagem aumenta a eficácia e eficiência, melhora o bem-estar humano, a satisfação do usuário, a acessibilidade e

sustentabilidade; Além disso, neutraliza possíveis efeitos adversos: na saúde, na segurança e no desempenho humano.

Sistemas inteligentes centrados no homem (NELLES *et al.*, 2016; REIS; PINTO; GONÇALVES, 2017; ZHAO *et al.*, 2017; SACHA *et al.*, 2017; LUN; ZHAO, 2015), juntamente com o princípio de design do paradigma da Indústria 4.0 (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016), sugerem diferentes alternativas para abordar as questões mencionadas anteriormente, exigindo-se a conexão entre todos os atores da cadeia produtiva, desde produtos semiacabados, até estações de trabalho, bem como máquinas e trabalhadores.

Portanto, se uma fábrica quer tornar-se “inteligente” (ou seja, ser capaz de ter a maioria dos seus dados oriundos de suas operações e sistema de gestão, disponibilizados em tempo real), ela precisa preocupar-se com o quesito Conectividade. Em linhas gerais ela deverá ser capaz, de prover instantaneamente informações acerca dos produtos e itens produzidos, em suas dependências fabris.

Existem basicamente duas soluções para fornecer conectividade a objetos: ou os objetos já incorporam algum tipo de unidade de processamento ou tais objetos são anexados a elementos de hardware cujo software torna-os em objetos “inteligentes”. O primeiro geralmente é *over-killing* em muitas situações (por exemplo, talvez não seja razoável tornar inteligente cada parafuso de uma montagem). Nesse contexto, as etiquetas inteligentes aparecem como uma proposta de solução, já que podem ser coladas ou anexadas a objetos ou conjuntos de objetos.

Além disso, elas serviram aqui para detalhar a sua relação com os Paradigmas da Indústria 4.0, indicando-se as possíveis aplicações e analisando os requisitos para os sistemas baseados em etiquetas inteligentes, no âmbito de fábricas que estejam desenvolvendo-se no contexto ou era da Indústria 4.0.

### 3.8 Controle de Torque de Aperto

O método mais comum de controle de tensão no parafuso é indireto, isso é usualmente difícil ou não é prático medir a tensão produzida em cada parafuso durante a montagem. Para muitas aplicações, a tensão em parafusos pode ser satisfatoriamente controlada com certos limites pela aplicação de um torque conhecido no parafuso. Teste de laboratório tem mostrado, considerando que uma relação satisfatória de torque e tensão pode ser estabelecida para um dado conjunto de condições, uma mudança de algumas das variáveis, tal como material do parafuso, acabamento superficial, e a presença ou ausência de lubrificante, pode severamente alterar a relação. Segundo, Pizzio (2005), isto ocorre porque muito do torque aplicado é absorvido na fricção intermediária, então, uma mudança na rugosidade superficial da superfície de rolamento ou uma mudança na lubrificação afetará drasticamente a fricção e a relação torque e tensão.

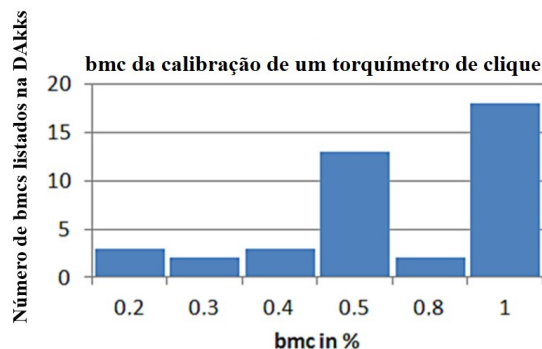
Indiferente ao método ou acurácia de aplicação de pré-carga, a tensão diminuirá com o tempo se o parafuso, porca, ou assentamento da face da arruela deformar sob carga, ou se o parafuso se alonga por fluência sob carga de tração, ou se carga cíclica causa movimentação relativa entre os membros da junta ??).

Um método controlado de atuar em conexões roscadas é apertando de modo que um torque especificado seja conseguido. Este método é geralmente conhecido como controle de torque. O problema principal relacionado a este procedimento é que a força de tração do fixador (parafuso), gerada do resultado de um torque aplicado, é dependente do projeto do fixador e das condições de atrito que prevalecem. Apesar destes problemas, é ainda a maneira mais comum de assegurar-se que um parafuso montado cumpra com as especificações da Engenharia Pizzio (2005).

### 3.9 Ferramentas Inteligentes: Torquímetros Wireless de Clique

Segundo, Brüge (2015), os torquímetros de torque por clique (CTWs) estão configurando ferramentas de torque do tipo II de acordo com a ISO 6789, que são chaves com um mecanismo de liberação para limitar o torque transferível. Em particular, esta definição exclui chaves de fenda ou chaves com barras de flexão. Eles devem ser calibrados de acordo com a ISO 6789, onde são necessários limites de conformidade que correspondem a  $\pm 4\%$  e  $\pm 6\%$ , respectivamente, para o desvio relativo do valor de liberação. No entanto, os CTWs destinados como padrões de transferência para a rastreabilidade das instalações de calibração em questão devem atender à requisitos muito mais rigorosos. Eles devem corresponder às melhores capacidades de medição (bmc), de laboratórios credenciados para calibração de CTW no organismo de acreditação alemão (DAkkS). Estes bmc cobrem o intervalo de 0,2% a 1% , conforme apresentado na Figura 3.7. Uma comparação chave do Serviço de Calibração Alemão (DKD), baseada em procedimentos de acordo com a norma ISO 6789, usando CTWs, demonstrou a insuficiência da combinação dos mesmos, com esses procedimentos para fins de transferência. Portanto, hoje em dia, somente os torquímetros de transferência podem fornecer a rastreabilidade da calibração de torque estático nas instalações relacionadas, de acordo com os valores de bmc dos laboratórios de calibração. Porém, solicitações dinâmicas específicas para as instalações destinadas à calibração de CTWs não podem ser verificadas indicando chaves de torque. Portanto, o uso de CTWs de transferência é necessário particularmente durante as avaliações para complementar a rastreabilidade dos laboratórios que trabalham no campo da ISO 6789.

Figura 3.7 – Distribuição das bmc listadas no DAkkS para calibração dos torquímetros de clique, de acordo com a norma ISO 6789.



Fonte – Adaptado de Brüge (2015)

## CAPITULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão abordados os principais resultados obtidos, os quais foram coletados durante a realização do projeto piloto, nos postos e subpostos pré-definidos nesse estudo, isto é: o PM50, PM52, PM50 e PMJ, os quais correspondiam à 80% dos problemas, inerente aos vazamentos hidráulicos em mangueiras e conexões.

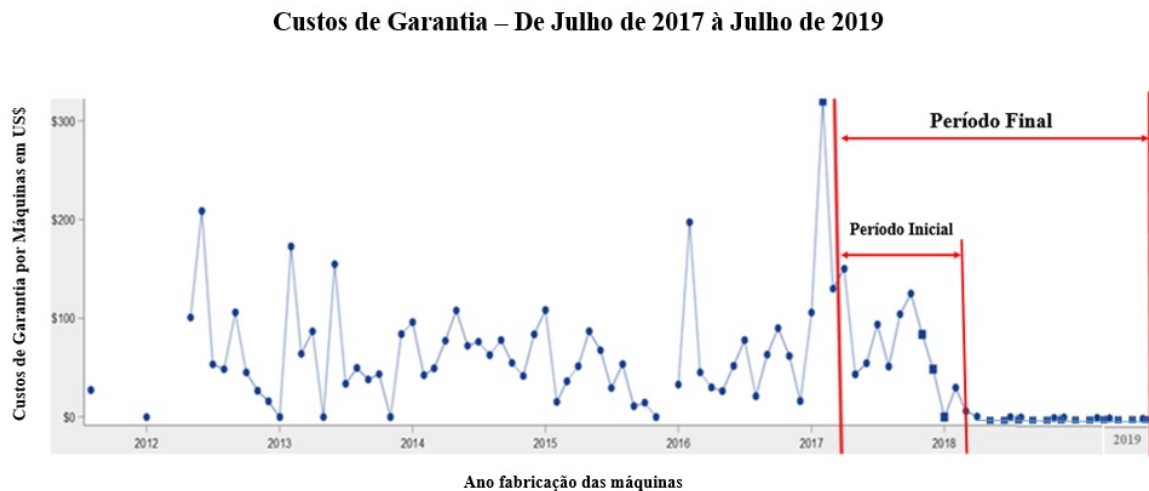
Buscou-se reunir então as informações relacionadas aos dados coletados dos postos e subpostos da Montagem, compreendidos nesse experimento. A base de dados usada, abrange os anos de 2017 à 2019, respectivamente. O objetivo dessa etapa seria de prover uma percepção macro, em direção à uma análise micro, ou seja, apresentar-se os dados do Antes e o Pós, acerca das implementações das ferramentas inteligentes e do sistema MES XGAAT.

Nesta seção também é apresentado o comportamento dos indicadores do FPM, IPQ e dos Custos de Garantia, dos pulverizadores autopropeidos da XGreen S/A. Com base nos referidos indicadores, percebe-se uma tendência de queda, nos índices de falhas e consequentemente dos custos de Garantia. Em linhas gerais observou-se uma redução em seus respectivos valores absolutos, fato que é evidenciado por meio dos seus respectivos gráficos.

A figura 4.1, nos apresenta uma curva, a qual refere-se aos Custos com Garantia, para os pulverizadores autopropeidos da XGreen S/A. Para a criação desta curva, utilizou-se um recurso de extrapolação de dados. Importante frisar-se que para esse indicador, utilizou-se o recurso sa extrapolação de dados, o qual mostra uma curva com tendência de queda conforme mostra a figura. O gráfico é dividido em dois períodos de análises, isto é, um período inicial, o qual foi gerado logo após alguns meses da implementação e um período do meio para o fim do projeto. Conforme indicado pelas retas em vermelho, após as implementações teve-se uma diminuição direta nos custos de Garantia por máquina, os quais estão

apresentados na figura, em dólares americanos.

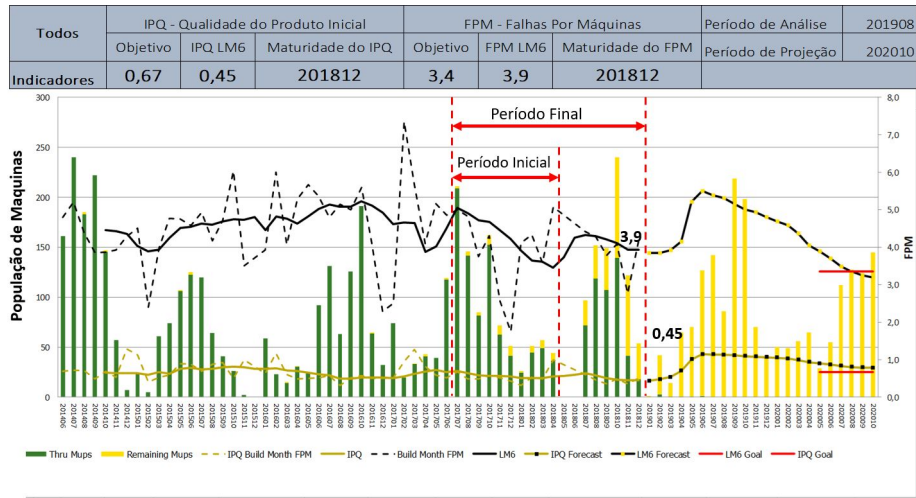
Figura 4.1 – Custos Garantia dos Pulverizadores: curva atual e com tendência descendente.



Fonte – Elaborado pelo próprio autor.

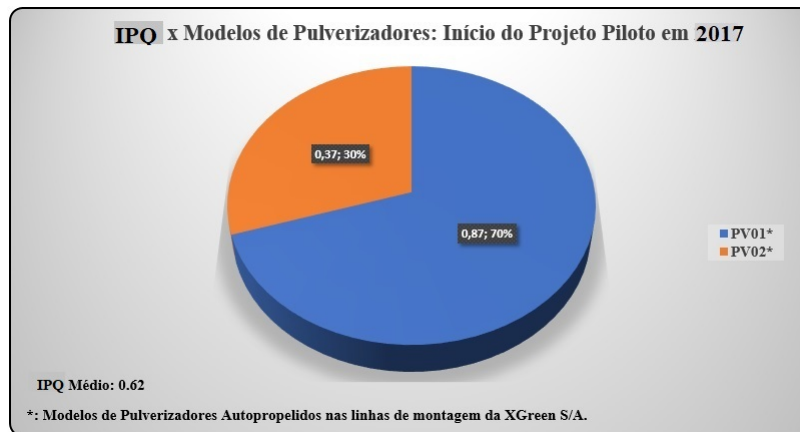
Esse gráfico também é um indício de que o Indicador **FPM** para os pulverizadores autopropelidos da XGreen S/A, também estão caindo, já que são índices correlacionados, ou seja, quanto menores os Custos de Garantia, menor tende a ser o FPM. Esse indicador refere-se aos registros das falhas das máquinas, no campo, ou seja, ocorridas nas primeiras 1500h de uso ou 12 meses. É importante frisar-se também que para esse indicador, utilizou-se o recurso da extrapolação de dados. Conforme indicado na figura 4.2. Pode-se ver pelo gráfico que o objetivo de fábrica para esse indicador é de **3,40**. O FPM atual, medido no mês de Agosto de 2019, está em **3,90**. No entanto, de acordo com a figura, percebe-se que durante as primeiras medições do indicador, logo após às implementações, teve-se um decréscimo do FPM (período inicial). Do meio do projeto para o fim, constatou-se uma variação no valor do FPM, o qual conforme já dito anteriormente, está atualmente em **3,90** (período final). A causa dessa variação está sob análise do time da Qualidade da XGreen S/A. A linha preta a qual representa esse indicador, ajuda-nos a corroborar essa constatação. A mesma figura, também nos apresenta a curva atualizada e estratificada do indicador IPQ. O mesmo está relacionado com as primeiras falhas da máquina ocorridas ainda em ambiente fabril, isto é, nas primeiras 30h de uso. Para a criação desta curva, também utilizou-se o recurso de extrapolação de dados. Segundo o gráfico mostra, estamos com o indicador abaixo da meta especificada, ou seja, de **0,67**. Atualmente o IPQ medido está em **0,45** e com tendência de queda, conforme a linha verde musgo do referido indicador sugere. Esse é um forte indício de que as medidas implementadas foram bem sucedidas e estão surtindo o efeito esperado, já que se está tendo uma redução nos índices de falhas por máquinas. Pode-se ver nesse gráfico, barras em verde e em amarelo, respectivamente. As barras em verde referem-se às máquinas com períodos de Garantias já finalizados. Já as de cor amarela, correspondem às máquinas que ainda encontram-se no período de Garantia, ou seja, dos 12 meses ou 1500h.

Figura 4.2 – Indicadores FPM e IPQ dos Pulverizadores: curva atualizada e com tendência descendente para o IPQ.



A Figura 4.3, apresenta o gráfico inicial e estratificado, o qual refere-se ao Indicador **IPQ**, dos pulverizadores autopropelidos modelos PV01 e PV02 da XGreen S/A, considerando-se o estágio inicial do projeto piloto em 2017, onde se tinha um **IPQ** médio de **0.62**. Para a criação desta curva, utilizou-se um recurso de extrapolação de dados.

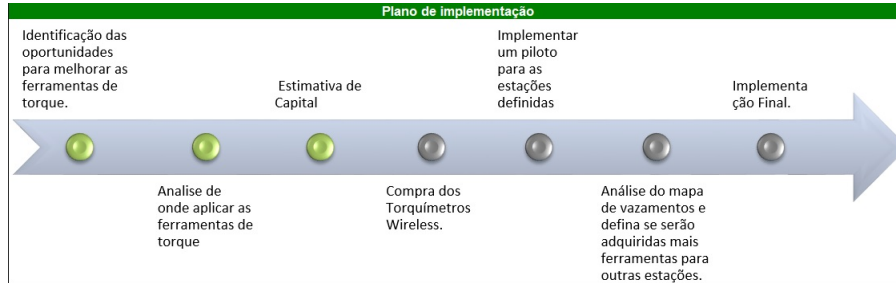
Figura 4.3 – Indicador IPQ dos Pulverizadores modelos PV01 e PV02: gráfico referente à fase inicial do projeto piloto em 2017.



Fazendo-se uma análise entre os indicadores FPM e IPQ do período atual versus o do período inicial, conseguiu-se identificar que houve uma redução de 27% no que tange a ambos indicadores, o que nos permite atestar que as ações implementadas nos postos de montagem dos pulverizadores sob controle, dos torquímetros, das controladoras, das ponteiras, do sistema MES XGAAT e das controladoras surtiram efeito, conforme apresentado na figura 4.2.

Em linhas gerais, conforme demonstrado na 4.4, o Plano de Implementação, teve os seguintes balizadores ou marcos do Projeto:

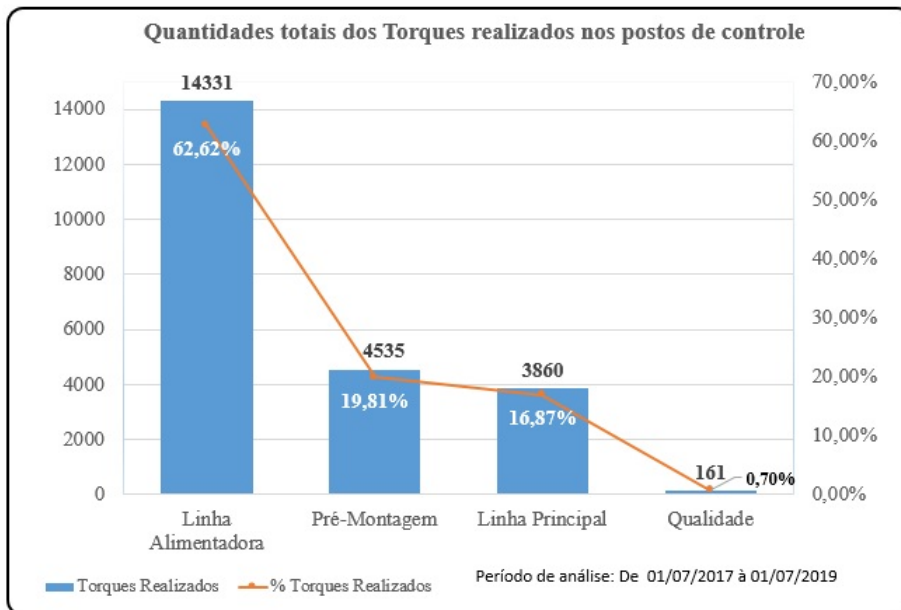
Figura 4.4 – Fluxograma: Plano de Implementação do Projeto-piloto



Fonte – Elaborado pelo próprio autor.

A seguir far-se-á algumas análises voltadas exclusivamente nos postos de Controle, ou seja, os postos os quais implementaram-se as ferramentas inteligentes e o sistema MES XGAAT. Na Figura 4.5 a seguir tem-se uma representação de todos os torques dados nos postos de Controle PM50, PM52, PM53 e PMJ:

Figura 4.5 – Quantidade de Torques realizados nos postos de controle



Fonte – Elaborado pelo próprio autor.

Através da Tabela 4.1 é que foi possível a criação desse gráfico:

Tabela 4.1 – Especificação das ferramentas inteligentes

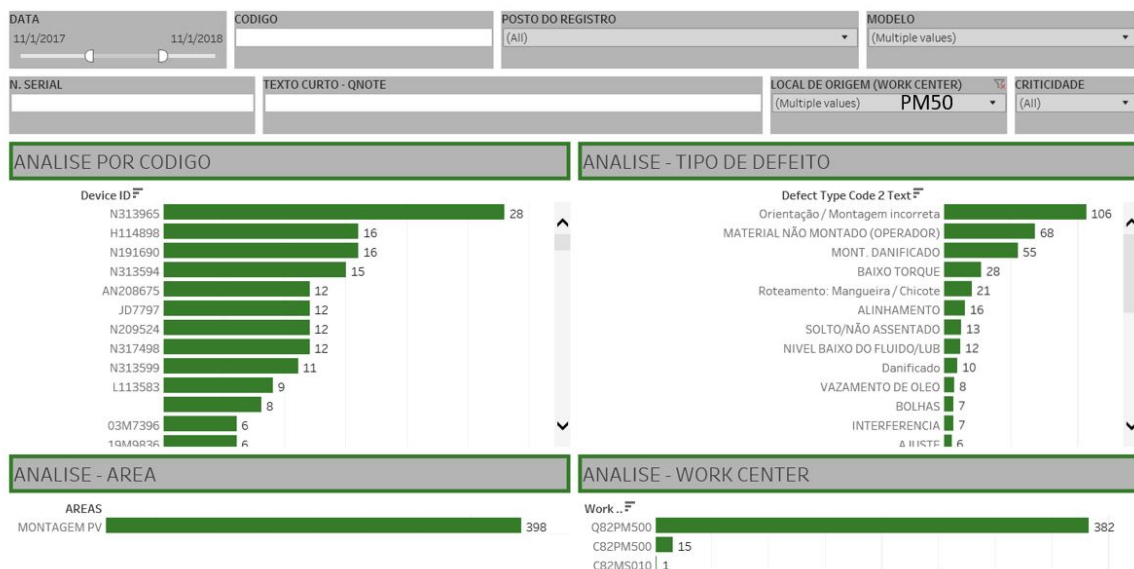
Postos	Torques Realizados	% Torques Realizados
Linha Alimentadora	14331	62,62%
Pré-Montagem	4535	19,81%
Linha Principal	3860	16,87%
Qualidade	161	0,70%
<b>Total</b>	<b>22887</b>	<b>100%</b>

Fonte – Elaborado pelo próprio autor.

Nas Figuras 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 e 4.13 serão apresentadas as análises segmentadas por postos, as quais foram realizadas em dois períodos distintos, isto é, o primeiro período vai de 01 de Novembro de 2017 até 01 de Novembro de 2018. Já o segundo período vai de 02 de Novembro de 2018 até 20 de Setembro de 2019, conforme segue. Ao final serão feitos os comentários gerais sobre as análises dos postos.

Figura 4.6 – PM50: Primeiro Período de Análises

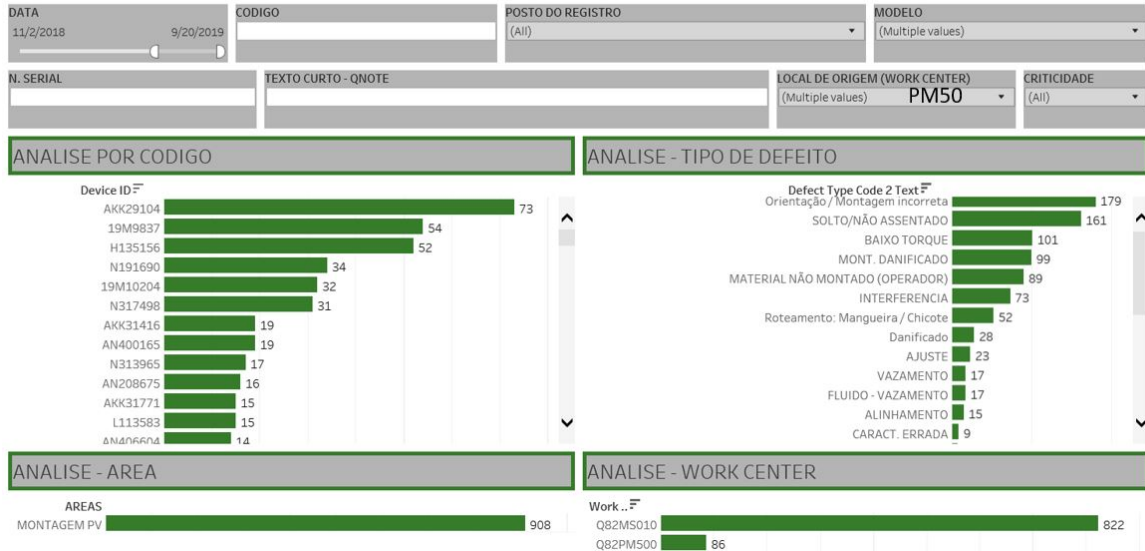
## PM50 – Primeiro Período de Análises



Fonte – Elaborado pelo próprio autor.

Figura 4.7 – PM50: Segundo Período de Análises

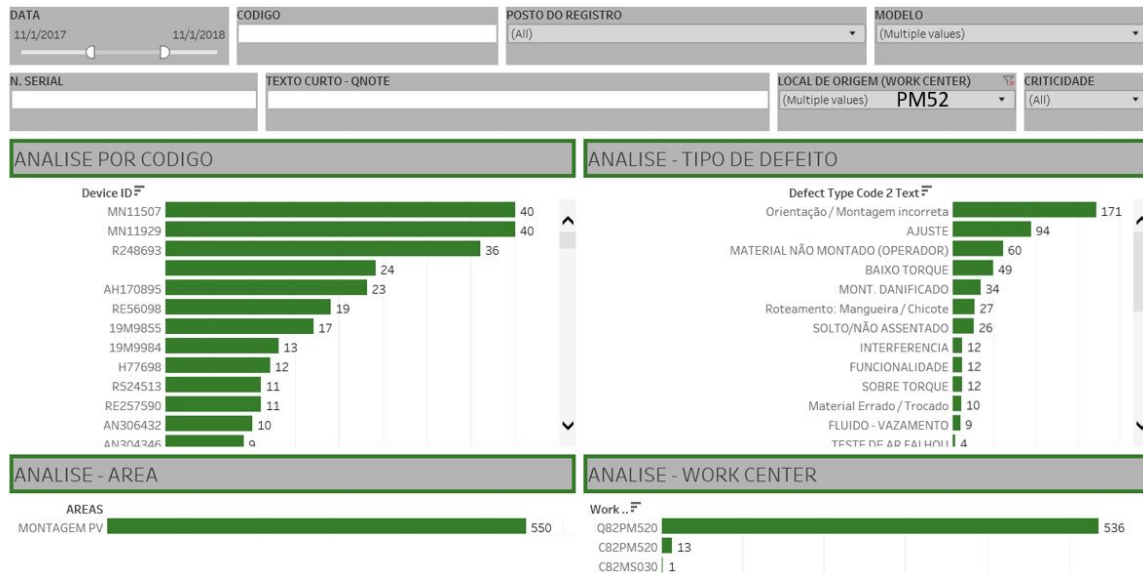
## PM50 – Segundo Período de Análises



Fonte – Elaborado pelo próprio autor.

Figura 4.8 – PM52: Primeiro Período de Análises

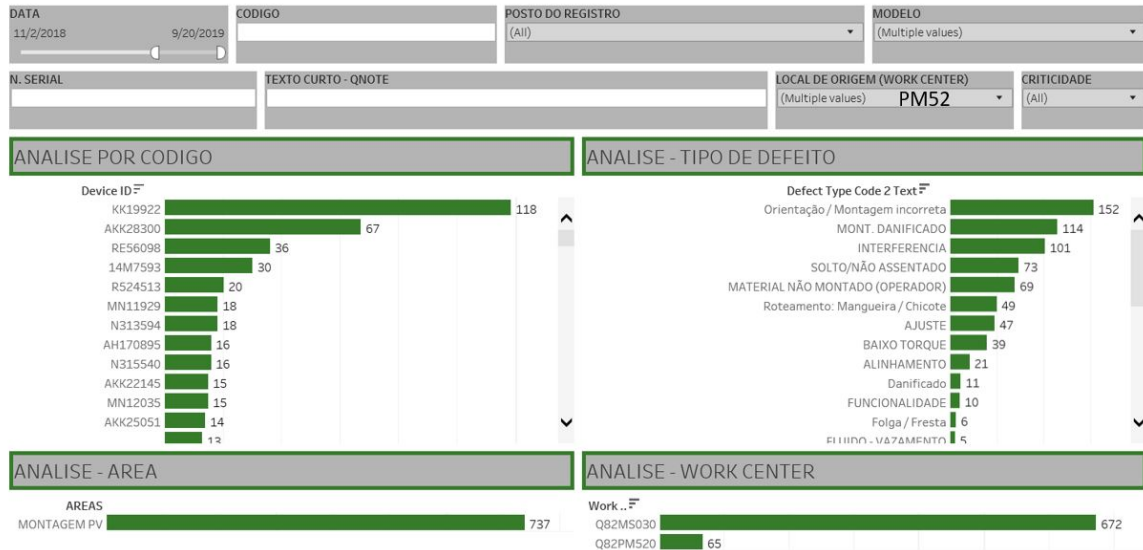
## PM52 – Primeiro Período de Análises



Fonte – Elaborado pelo próprio autor.

Figura 4.9 – PM52: Segundo Período de Análises

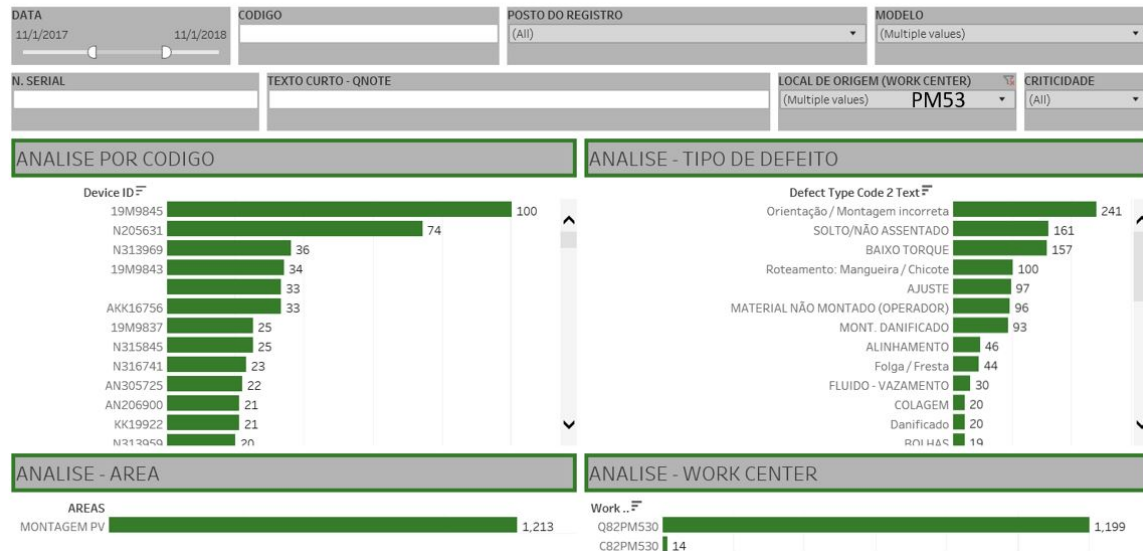
## PM52 – Segundo Período de Análises



Fonte – Elaborado pelo próprio autor.

Figura 4.10 – PM53: Primeiro Período de Análises

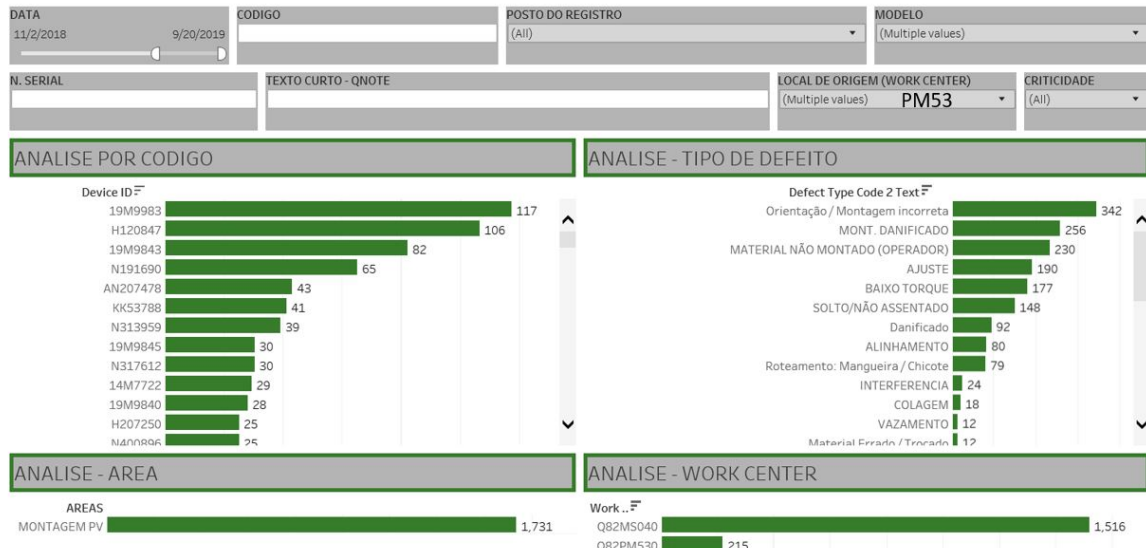
## PM53 – Primeiro Período de Análises



Fonte – Elaborado pelo próprio autor.

Figura 4.11 – PM53: Segundo Período de Análises

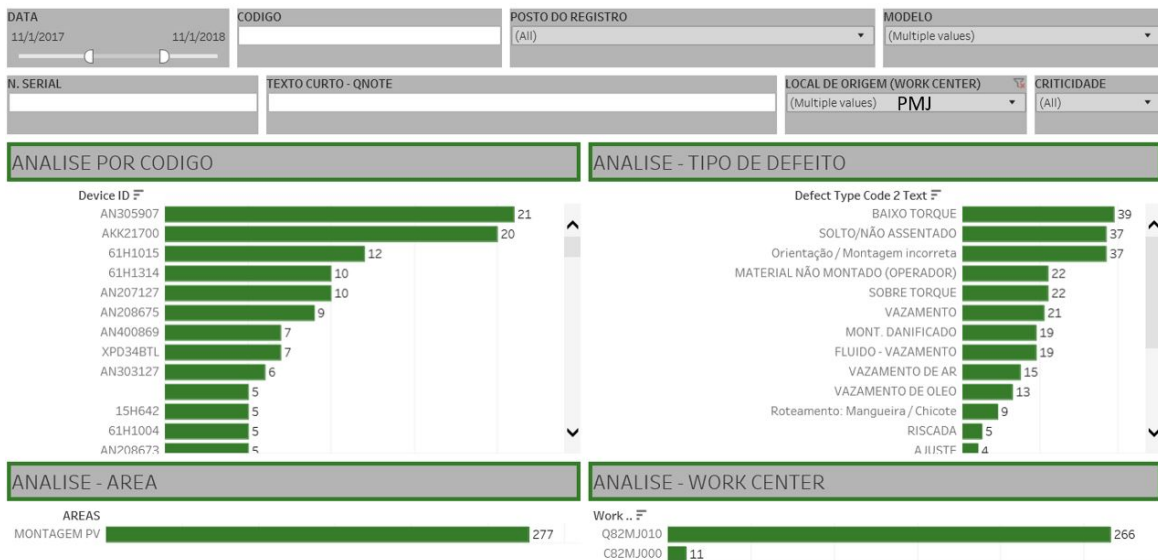
## PM53 – Segundo Período de Análises



Fonte – Elaborado pelo próprio autor.

Figura 4.12 – PMJ: Primeiro Período de Análises

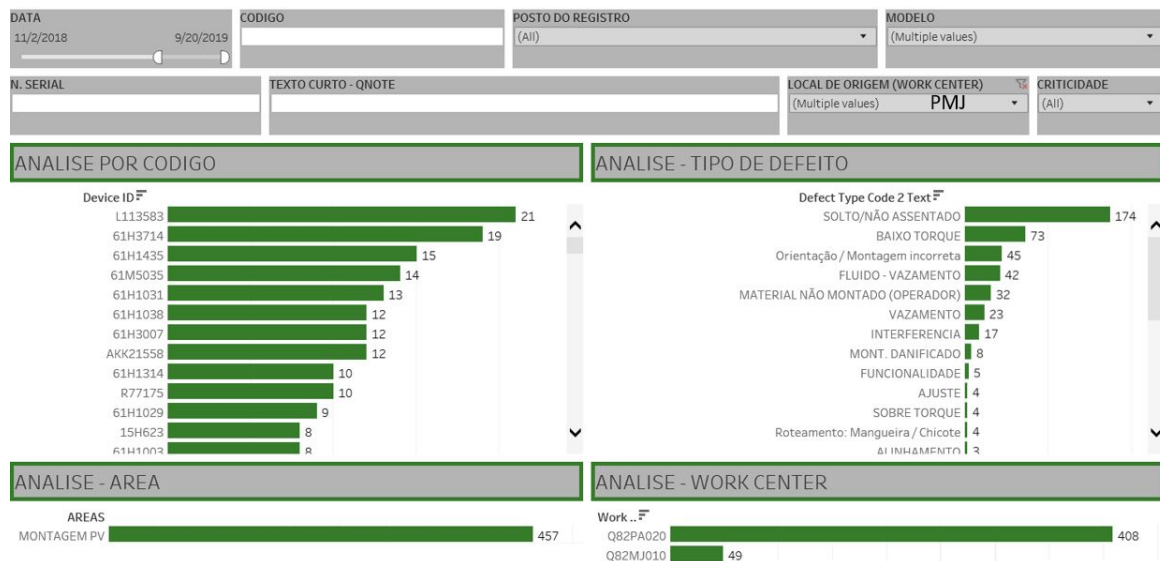
## PMJ – Primeiro Período de Análises



Fonte – Elaborado pelo próprio autor.

Figura 4.13 – PM5J: Segundo Período de Análises

## PMJ – Segundo Período de Análises



Fonte – Elaborado pelo próprio autor.

Através da Tabela 4.2, pode-se constatar as variações nos percentuais de falhas, ocorridas nos postos de controle estudados nesse projeto de Pesquisa. Estas alterações percentuais, foram ocasionadas ou acentuadas, em decorrência da inserção 03 modelos novos de pulverizadores (PV3, PV4 e PV5), a partir do 2º período de análises, fato este que contribuiu para o aumento das falhas, dadas às complexidades inerente aos novos processos de montagem, destes novos modelos de equipamentos. É importante frisar que a parte estrutural e hidráulica desses novos modelos, não são iguais às dos modelos pré-existentes, fato este, que pode explicar o ligeiro aumento na quantidade de falhas dessa natureza. Com base na referida tabela, também nota-se que o percentual de variação médio, no que tange às falhas, ficou em 57%. Para chegar-se nesse valor, fez-se o seguinte cálculo: para cada posto em análise, dividiu-se o número de falhas do segundo período pelo número de falhas do primeiro período. Após isso, extraiu-se do valor resultante uma unidade e multiplicou-a por cem, em vistas a terem os valores finais em porcentagem. O mesmo procedimento repetiu-se para os cálculos das variações do IPQ na tabela 08. Ainda na Tabela 08, verifica-se a notação "NA", a qual significa "Não Aplicado", isto é, no primeiro período de análise não existiam os modelos de pulverizadores PV03, PV04 e PV05, logo não houve um IPQ inicial para estes modelos. Contudo no segundo período de análise, verificou-se que o IPQ incidente nos referidos postos foi de 0,45. Porém para efeitos de análises finais, em relação aos percentuais de variações de falhas, para os mesmos postos, também desconsiderou-as, motivo pelo qual, na coluna "Variação", aparece a notação "NA" para os postos PV03, PV04 e PV05. Outro detalhe nessa tabela é o valor do IPQ inicial indicado na mesma, isto é, de 0,62, conforme está demonstrado na Figura 4.3

Tabela 4.2 – Variações de falhas por postos de montagem

<b>Postos</b>	<b>1º Período-Qtde de Falhas</b>	<b>2º Período-Qtde de Falhas</b>	<b>% Variação</b>
PM50	398	908	128,00%
PM52	550	737	34,00%
PM53	1213	1731	43,00%
PMJ	277	457	65,00%
Total	2438	3833	57,00%

Fonte – Elaborado pelo próprio autor.

Tabela 4.3 – Variações do IPQ modelos de pulverizadores

<b>Postos</b>	<b>1º Período-Qtde de Falhas</b>	<b>2º Período-Qtde de Falhas</b>	<b>% Variação</b>
PV01	0,62	0,45	-27 %
PV02	0,62	0,45	-27 %
PV03	NA	0,45	-27 %
PV04	NA	0,45	-27 %
PV05	NA	0,45	-27 %
Total	0,62	0,45	-27 %

Fonte – Elaborado pelo próprio autor.

## CAPITULO 5

### CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Com base nos dados expostos anteriormente, pôde-se relacionar os principais resultados desse projeto de pesquisa, o qual culminou numa redução de 27% no FPM, ou seja, no início do projeto tínhamos um FPM de 0,62 nas linhas de montagem dos pulverizadores autopropelidos, modelos PV1 e PV2, respectivamente. A Figura 4.3, apresenta o gráfico inicial e estratificado, o qual refere-se ao Indicador **IPQ**, dos pulverizadores autopropelidos modelos PV01 e PV02 da XGreen S/A, considerando-se o estágio inicial do projeto piloto em 2017, onde se tinha um **IPQ** médio de **0.62**. Já ao fim do estudo de caso, tivemos um FPM de 0,45, nas linhas de montagem dos pulverizadores autopropelidos, modelos PV01, PV02, PV03, PV04 E PV05. Sendo que esses três últimos modelos, foram inseridos dentro do segundo período de análises, o qual deu-se entre Novembro de 2018 até Setembro de 2019; Esse fato pode ser bem visualizado na Tabela 08. A figura 4.1, nos apresentou uma curva, a qual refere-se aos Custos com Garantia, para os pulverizadores autopropelidos da XGreen S/A. O gráfico é dividido em dois períodos de análises, isto é, um período inicial, o qual foi gerado logo após alguns meses da implementação e um período do meio para o fim do projeto. Conforme indicado pelas retas em vermelho, após as implementações teve-se uma diminuição direta nos custos de Garantia por máquina, os quais estão apresentados na figura, em dólares americanos. Esse gráfico também é um indício de que o Indicador **FPM** para os pulverizadores autopropelidos da XGreen S/A, caiu, já que são índices correlacionados, ou seja, quanto menores os Custos de Garantia, menor tende a ser o FPM. Esse indicador refere-se aos registros das falhas das máquinas, no campo, ou seja, ocorridas nas primeiras 1500h de uso ou 12 meses. É importante frisar-se também que para esse indicador, utilizou-se o recurso da extrapolação de dados. Conforme indicado na figura 4.2. Pode-se ver pelo gráfico que o objetivo de fábrica para esse indicador é de **3,40**. O FPM atual, medido no mês de Agosto de 2019, está em **3,90**. No entanto, de acordo com a figura, percebe-se que durante as primeiras medições do indicador, logo após às implementações, teve-se um decréscimo

do FPM (período inicial). Do meio do projeto para o fim, constatou-se uma variação no valor do FPM, o qual conforme já dito anteriormente, está atualmente em **3,90** (período final). Através da Tabela 07, pode-se constatar as variações nos percentuais de falhas, ocorridas nos postos de controle estudados nesse projeto de Pesquisa. Estas alterações percentuais, foram ocasionadas ou acentuadas, em decorrência da inserção 03 modelos novos de pulverizadores (PV3, PV4 e PV5), a partir do 2º período de análises, fato este que contribuiu para o aumento das falhas, dadas às complexidades inerente aos novos processos de montagem, destes novos modelos de equipamentos. É importante frisar que a parte estrutural e hidráulica desses novos modelos, não são iguais às dos modelos pré-existentes, fato este, que pode explicar o ligeiro aumento na quantidade de falhas dessa natureza. Com base na referida tabela, também nota-se que o percentual de variação médio, no que tange às falhas, ficou em 57%

Por meio na Pesquisa realizada, pôde-se verificar a existência de elementos sólidos, os quais permitem atestar que as medidas tomadas, acerca da adoção de novas tecnologias no chão de fábrica da XGeen S/A, foram assertivas. Dentre as melhorias de parâmetros percebidas no âmbito produtivo da referida companhia, podem-se citar: o melhor Controle de Torque (Torques Críticos), a Rastreabilidade de Processos e à diminuições do indicador de Falhas por máquinas (FPM) e melhora do IPQ, conforme apresentado na figura 4.2. Ambos os indicadores impactam diretamente na Qualidade do produto final, nas linha de montagens dos pulverizadores da XGreen S/A. O IPQ qual refere-se aos registros das primeiras falhas da máquina (30h), ainda no ambiente fabril; Já o FPM, refere-se às Falhas de Máquinas ocorridas no primeiro ano de garantia dos equipamentos ou das primeiras 1500h de uso do equipamento. Importante dizer que as melhorias mencionadas incidiram em todos os modelos de pulverizadores fabricados no âmbito da XGreen, isto é, o PV1, PV2, PV3, PV4 e PV5. Durante a execução do estudo, não verificou-se na Literatura um estudo de caso similar a este, , isto é, o qual versasse sobre a implementação de ferramentas inteligentes no chão de fábrica de uma empresa produtora de bens de Capital, voltada para o setor de maquinário e implementos agrícolas. Pode-se dizer que contribuição acadêmica desse trabalho, foi o estudo e aplicação dos conceitos da Indústria 4.0 como forma de otimização no processo de fábrica, em uma indústria representante do setor do agronegócios. Assim pode-se dizer que que o presente estudo de caso, representa uma contribuição da academia e do PPGEP, para o desenvolvimento da Ciência e promoção da Tecnologia no Brasil e na sociedade civil. Também por meio desta Pesquisa, pôde-se responder à questão de Pesquisa, inerente ao projeto desenvolvido, ou seja: isto é:

- Q1 - Como o Controle de Torque, aliado ao Sistema MES XGAAT e a adoção de ferramentas inteligentes, no chão de fábrica, contribuirão para que a XGreen S/A, possa melhorar o controle e a rastreabilidade de Processos nas linhas de montagem dos pulverizadores autôpropelidos, tão bem como melhorar os processos qualitativos e de desenvolvimento de novos modelos de pulverizadores autôpropelidos?

Cabe salientar, que dentre todas as vertentes possíveis da Manufatura Avançada ou Indústria 4.0: IoT, Big Data, *Analytics*, *Smart Factory*, Cibersegurança, Realidade Aumentada, Inteligência Artificial, Robôs Autônomos e Manufatura aditiva, dentre outras, a XGreen S/A, nesse primeiro momento, concentrou a sua Estratégia, no que tange às Implementações das ferramentas inteligentes (torquímetros

wireless, ponteiras, controladoras e sistema MES XGGAT) na promoção do *Analytics.*, já que há um processamento de grandes quantidades de dados e informações. O uso do *Analytics* fez-se necessário em função do tratamento dos dados processados, os quais são altamente necessários às atividades produtivas da XGreen S/A. Esse fato pode ser corroborado nas figuras que vão da 4.6 até a 4.13, as quais correspondem às análises das falhas por postos de controle.

Por meio do trabalho, ficou claro que a competitividade crescente no mercado globalizado e a necessidade de eficiência têm imposto mudanças nos sistemas de manufatura, exigindo maior flexibilidade, em diferentes aspectos, tais como o volume de produção, o tipo de produto e/ou serviço e a natureza dos recursos envolvidos. Além disso, com o advento da Indústria 4.0 e do incremento de novas tecnologias no chão de fábrica as empresas tendem a tornarem-se muito mais competitivas.

Com os estudos realizados, pôde-se constatar que o desenvolvimento de novos produtos, está baseado em um conjunto de atividades por meio das quais busca-se a partir das necessidades do mercado, das possibilidades e restrições tecnológicas, a criação de estratégias competitiva, as quais possibilitem atender aos anseios dos clientes. Com isso, consegue-se desenvolver produtos melhores, uma vez que são pensados e desenvolvidos, tendo em vista uma customização, a qual visa atender a um dado cliente ou nicho do mercado. Cabe ressaltar que esta customização, permite às empresas estruturarem a sua Produção para conseguir atender à essas demandas produtivas.

Imagina-se que ganhos de produtividade obtidos com o uso de tecnologias inteligentes poderão ajudar a garantir empregos, uma vez que com o advento dessas tecnologias, surgirão novas profissões e que representarão mais oportunidades, no âmbito laboral. Além disso espera-se existir uma impulsão no que tange a demanda dos consumidores. A Indústria 4.0, está tornando as fábricas mais inteligentes, flexíveis e dinâmicas, equipando-as com sensores, atuadores e sistemas autônomos;

Esse fato, faz e fará com que máquinas e equipamentos alcancem altos níveis de otimização e de automação. Além do mais, o processo de fabricação tenderá a ser capaz de cumprir padrões e requisitos mais complexos e qualificados dos produtos projetados.

É importante frisar que outras medidas também ajudaram na composição desses Resultados, tais como a implementação de Auditoria de Produto no final na linha de montagem e de testes para detecção de vazamentos com Luz Preta (*Black Light*). Essas metodologias permitem que sejam tomadas ações corretivas, no que tange às falhas de Montagem, antes das máquinas serem enviadas aos clientes.

- I Auditoria de Inspeção do Produto, no fim da linha de montagem dos pulverizadores autopropelidos;
- II Teste de detecção de vazamentos hidráulicos, fazendo-se uso de Luz Preta (*Black Light*);
- III Diminuição dos índices de Defeitos por Máquinas (DPM) e de Incidências de Falhas Prematuras, no campo (IPQ).

Por meio desta Pesquisa, conseguiu-se detectar áreas de Oportunidades, nas quais teve-se que impor planos de ação, tais como: remodelagem do seu sistema produtivo, de seus processos e consequentemente dos seus tempos padrões. O estudo foi importante, pois servirá como um referencial para que

a referida empresa investida no desenvolvimento do conceito de Agricultura 4.0, que refere-se a sistemas que empregam *drones*, robótica, Internet das coisas (IoT), fazendas verticais, inteligência artificial (IA) e energia solar. Outra contribuição importante do projeto, foi o de mostrar à Engenharia de Manufatura da XGreen S/A a necessidade de implementar-se no próximo lote, torquímetro digitais. Pois são passíveis de armazenar uma quantidade maior de ranges de Torque. Esse fato é importante, pois reduzirá a quantidade necessária de torquímetros *wireless* nos postos da Montagem.

Por meio da integração da tecnologia digital às práticas agrícolas, as empresas podem aumentar os rendimentos, reduzir custos, experimentar menos danos às lavouras e minimizar o uso de água, combustível e fertilizantes. Para o consumidor, isso equivale a alimentos mais baratos e de melhor Qualidade. No entanto, existem alguns dos desafios complexos da indústria de produção agrícola, juntamente com a diminuição das margens de lucro da produção para os agricultores. Para cultivar a comida e suprir as necessidades do mundo, os sistemas de produção agrícola precisam e precisarão de soluções inovadoras para produzir mais e de uma maneira ambiental, econômica e socialmente sustentável. Assim, embora a estrutura conceitual, as intenções e o escopo girando em torno da Agriculture 4.0 sejam instigantes e estimulantes numa primeira instância, sua implementação bem sucedida é o principal desafio para muitos países em todo o mundo, incluindo-se o Brasil.

Com base no exposto anteriormente, conclui-se que o trabalho realizado foi bem sucedido e atendeu aos preceitos iniciais discriminados na Seção dos Objetivos Geral e Específicos; Ainda cabe-se salientar que as Questões de Pesquisas, também foram respondidas.

Os objetivos específicos desse trabalho foram realizar concomitantemente com as implementações das ferramentas inteligentes, a adoção de outras medidas no chão de fábrica da XGreen S/A, as quais permitiram alcançar-se objetivo geral desse estudo que no caso foi a diminuição do índice de Falhas por Máquinas (FPM).

Em suma, pôde-se constatar através dos dados coletados e dos resultados alcançados que de fato, o estudo de caso foi positivo à Operação da Manufatura da XGreen S/A, pois teve uma contribuição prática, no âmbito de sua Engenharia de Manufatura. Tendo-se em mente que a Engenharia de Operações e Processos Industriais engloba o planejamento, a programação, a execução e o controle de processos produtivos para converter recursos de entrada em produtos e serviços, pode-se afirmar que o presente trabalho, fundamentou-se no estudo e aplicações das seguintes áreas do conhecimento: projetos, engenharia industrial, engenharia, desenvolvimento de produtos e de processos produtivos, engenharia da qualidade e da produtividade, gestão da manutenção industrial, entre outros elementos que afetam diretamente os processos produtivos industriais.

## 5.1 TRABALHOS FUTUROS

Nessa seção, com base nos estudos realizados e na Conclusão acerca deste projeto, buscar-se-á propor um direcionamento, ao que se refere à continuidade desta Pesquisa, em nível de Doutorado.

Diante dos ótimos resultados do projeto piloto realizados nos postos, o plano poderia ser de

estruturar uma implementação generalizada nas duas linhas de produtos da XGreen S/A, isto é colhedoras de cana e dos pulverizadores autopropelidos. A idéia é aprofundar os experimentos em todos os postos e subpostos da Montagem. Poderá ser empregado uma maior variedade de tecnologias, as quais permitam à XGreen S/A tornar-se uma fábrica inteligente em sua totalidade. Segundo apregoa Blanchet *et al.* (2014), Fábrica Inteligente ou Fábrica 4.0 é um termo que remete a processos novos e radicais em empresas de manufatura. Nesses processos, dados são obtidos dos fornecedores, clientes e da própria empresa e avaliados para serem integrados à produção real. A crescente utilização de novas tecnologias - sensores, impressoras 3D e robôs - resultam em processos muito melhor ajustados e que respondem melhor no tempo real de produção.

Nesse contexto, o pesquisador em questão, poderá realizar uma pesquisa a qual possa contribuir para o desenvolvimento do conceito da Agricultura 4.0 ou Agricultura Digital, em vistas de melhorar a otimização de Custos e da Produtividade, assim como o da potencialização das Receitas no setor agrícola, setor este onde a XGreen S/A encontra-se atrelada.

O mundo precisa produzir 70% a mais de alimentos até 2050, usando menos energia, fertilizantes e pesticidas, diminuindo os níveis de emissão de gases (CO<sub>2</sub>), além de lidar questões ligadas às mudanças climáticas. Tecnologias antigas devem ser minimizadas ou mesmo eliminadas, enquanto que a adoção de novas tecnologias, deve ser maximizado e amplamente difundido. A agricultura 4.0 precisará olhar tanto para o lado da demanda quanto para a cadeia de valor/oferta da equação de escassez de alimentos, usando a tecnologia não apenas para inovação, mas para melhorar e atender às reais necessidades dos consumidores e reestruturar a cadeia de valor. Fazendas modernas e operações agrícolas funcionarão de forma diferente, principalmente por causa dos avanços da tecnologia, incluindo sensores, dispositivos, máquinas e tecnologia da informação. A agricultura futura usará tecnologias sofisticadas, como robôs, sensores de temperatura e umidade, imagens aéreas e tecnologia GPS, para listar algumas. Esses avanços permitirão que as empresas sejam mais lucrativas, eficientes, seguras e ecológicas.

## REFERÊNCIAS

- AB, A. C. *Atlas Copco collaborates with Saab and Combitech to develop safe mining digitalization solutions*. 2017. Acessado: 2018-03-11. Disponível em: <<https://www.atlascopcogroup.com/en/media/corporate-press-releases/2017/20171104-collaboration>> .
- AKELLA, P. *et al.* Cobots for the automobile assembly line. In: IEEE. *Proceedings 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No. 99CH36288C)*. [S.l.], 1999. v. 1, p. 728–733.
- ALEKSY, M. *et al.* Augmented reality for improved service delivery. In: IEEE. *2014 IEEE 28th International Conference on Advanced Information Networking and Applications*. [S.l.], 2014. p. 382–389.
- ANDERSSON, P.; MATTSSON, L.-G. Service innovations enabled by the “internet of things”. *IMP Journal*, Emerald Group Publishing Limited, v. 9, n. 1, p. 85–106, 2015.
- ANDREASSON, H. *et al.* Autonomous transport vehicles: where we are and what is missing. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, IEEE, v. 22, n. 1, p. 64–75, 2015.
- BACH, M. P.; ZOROJA, J.; VUKŠIĆ, V. B. Review of corporate digital divide research: A decadal analysis (2003-2012). *International Journal of Information Systems and Project Management*, Directory of Open Access Journals, v. 1, n. 4, p. 41–55, 2013.
- BANDYOPADHYAY, D.; , J. . Internet of things: Applications and challenges in technology and standardization. *Wireless Personal Communications*, Springer, v. 58, n. 1, p. 49–69, 2011.
- BARRACA, J. P.; ALVES, L. N.; FIGUEIREDO, M. Electronic shelf labeling employing visible light communication concepts. In: IEEE. *2014 9th International Symposium on Communication Systems, Networks & Digital Sign (CSNDSP)*. [S.l.], 2014. p. 1017–1022.
- BARTODZIEJ, C. J. The concept industry 4.0. In: *The Concept Industry 4.0*. [S.l.]: Springer, 2017. p. 27–50.
- BLANCHET, M. *et al.* Industry 4.0: The new industrial revolution-how europe will succeed. *Hg. v. Roland Berger Strategy Consultants GmbH. München. Abgerufen am 11.05. 2014, unter http://www.roland-berger.com/media/pdf/Roland\_Berger\_TAB\_Industry\_4\_0\_2014\_0403.pdf*, 2014.
- BLANCO-NOVOA, Ó. *et al.* An electricity price-aware open-source smart socket for the internet of energy. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 17, n. 3, p. 643, 2017.
- \_\_\_\_\_. A practical evaluation of commercial industrial augmented reality systems in an industry 4.0 shipyard. *IEEE Access*, IEEE, v. 6, p. 8201–8218, 2018.

- BONOMI, F. *et al.* Fog computing and its role in the internet of things. In: ACM. *Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing*. [S.l.], 2012. p. 13–16.
- BOUD, A.; BABER, C.; STEINER, S. Virtual reality: A tool for assembly? *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, MIT Press, v. 9, n. 5, p. 486–496, 2000.
- BRÜGE, A. Uncertainty restrictions of transfer click-torque wrenches. *ACTA IMEKO*, v. 4, n. 2, p. 23–31, 2015.
- Cave, H. Vr in... the factory of the future. *Engineering Technology*, v. 11, n. 3, p. 44–47, April 2016. ISSN 17509637.
- CORREA, H. L. *The links between uncertainty, variability of outputs and flexibility in manufacturing systems*. Tese (Doutorado) — University of Warwick, 1992.
- COURT, D. Getting big impact from big data. *McKinsey Quarterly*, v. 1, p. 52–60, 2015.
- CSIS. *Center for Strategic and International Studies, “Made in China 2025: Critical Questions*. 2017. Acessado: 2018-03-11. Disponível em: <<https://www.csis.org/analysis/made-china-2025>>.
- DOLUI, K.; DATTA, S. K. Comparison of edge computing implementations: Fog computing, cloudlet and mobile edge computing. In: IEEE. *2017 Global Internet of Things Summit (GloTS)*. [S.l.], 2017. p. 1–6.
- DOMINICI, G. *et al.* Click and drive: Consumer attitude to product development: Towards future transformations of the driving experience. *Business process management journal*, Emerald Group Publishing Limited, v. 22, n. 2, p. 420–434, 2016.
- DRATH, R.; HORCH, A. Industrie 4.0: Hit or hype?[industry forum]. *IEEE industrial electronics magazine*, IEEE, v. 8, n. 2, p. 56–58, 2014.
- ESPEJO, R.; DOMINICI, G. Cybernetics of value cocreation for product development. *Systems Research and Behavioral Science*, Wiley Online Library, v. 34, n. 1, p. 24–40, 2017.
- FATTORI, C. C. *et al.* Description of productive processes in a collaborative environment. In: IEEE. *IECON 2011-37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*. [S.l.], 2011. p. 379–384.
- FERNÁNDEZ-CARAMÉS, T. *et al.* Reverse engineering and security evaluation of commercial tags for rfid-based iot applications. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 17, n. 1, p. 28, 2017.
- FERNÁNDEZ-CARAMÉS, T. M. An intelligent power outlet system for the smart home of the internet of things. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 11, n. 11, p. 214805, 2015.
- FERNÁNDEZ-CARAMÉS, T. M.; FRAGA-LAMAS, P. A review on human-centered iot-connected smart labels for the industry 4.0. *IEEE Access*, IEEE, v. 6, p. 25939–25957, 2018.
- FERNÁNDEZ-CARAMÉS, T. M. *et al.* A methodology for evaluating security in commercial rfid systems. In: *Radio Frequency Identification*. [S.l.]: IntechOpen, 2017.
- FINKENZELLER, K.; HANDBOOK, R. *Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*. [S.l.]: John Wiley, Chichester, 2003.
- FORSCHUNG, B. für Bildung und. *Industrie 4.0 project official web page*. 2018. Acessado: 2018-03-11. Disponível em: <<https://www.bmbf.de/de/zukunftsprojekt-industrie-4-0-848.htm>>.

- FRAGA-LAMAS, P. *Enabling technologies and cyber-physical systems for mission-critical scenarios*. Dissertação (Mestrado) — Dept. Electrónica y Sistemas, Univ. Coruña, Galicia, 2017.
- FRAGA-LAMAS, P.; FERNÁNDEZ-CARAMÉS, T.; CASTEDO, L. Towards the internet of smart trains: A review on industrial iot-connected railways. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 17, n. 6, p. 1457, 2017.
- FRAGA-LAMAS, P. *et al.* A review on internet of things for defense and public safety. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 16, n. 10, p. 1644, 2016.
- FRAGA-LAMAS, P.; FERNÁNDEZ-CARAMÉS, T. M. Reverse engineering the communications protocol of an rfid public transportation card. In: IEEE. *2017 IEEE International Conference on RFID (RFID)*. [S.l.], 2017. p. 30–35.
- FRAGA-LAMAS, P. *et al.* A review on industrial augmented reality systems for the industry 4.0 shipyard. *IEEE Access*, IEEE, v. 6, p. 13358–13375, 2018.
- \_\_\_\_\_. Enabling automatic event detection for the pipe workshop of the shipyard 4.0. In: IEEE. *2017 56th FITCE Congress*. [S.l.], 2017. p. 20–27.
- \_\_\_\_\_. Rss stabilization techniques for a real-time passive uhf rfid pipe monitoring system for smart shipyards. In: IEEE. *2017 IEEE International Conference on RFID (RFID)*. [S.l.], 2017. p. 161–166.
- \_\_\_\_\_. Smart pipe system for a shipyard 4.0. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 16, n. 12, p. 2186, 2016.
- GARCIA, J. I.; MORALES, R. A. G.; MIYAGI, P. E. Supervisory system for hybrid productive systems based on bayesian networks and oo-dpt nets. In: IEEE. *Emerging Technologies and Factory Automation, 2008. ETFA 2008. IEEE International Conference on*. [S.l.], 2008. p. 1108–1111.
- GARTNER. *Forecast: The Internet of Things, Worldwide, 2013*. 2019. Acessado: 2018-03-11. Disponível em: <<https://www.gartner.com/en/documents/2626716>>.
- GROOVER, M. P. *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*. [S.l.]: Prentice Hall Press, 2007.
- GUBBI, J. *et al.* Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, Elsevier, v. 29, n. 7, p. 1645–1660, 2013.
- HARRISON, R.; VERA, D.; AHMAD, B. Engineering methods and tools for cyber-physical automation systems. *Proceedings of the IEEE*, IEEE, v. 104, n. 5, p. 973–985, 2016.
- HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In: IEEE. *2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)*. [S.l.], 2016. p. 3928–3937.
- HESSMAN, T. The dawn of the smart factory. *Industry Week*, v. 14, p. 14–19, 2013.
- HONG, H. *et al.* Electronic shelf label system based on public illuminating network. In: IEEE. *APCCAS 2008-2008 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems*. [S.l.], 2008. p. 1103–1106.
- HUR, C.-H. *et al.* Changes of cyber-attacks techniques and patterns after the fourth industrial revolution. In: IEEE. *2017 5th International Conference on Future Internet of Things and Cloud Workshops (FiCloudW)*. [S.l.], 2017. p. 69–74.

- JIE, Y. *et al.* Product delivery service provider selection and customer satisfaction in the era of internet of things: a chinese e-retailers' perspective. *International Journal of Production Economics*, Elsevier, v. 159, p. 104–116, 2015.
- JOSHUA, C.; ANNE, J. Challenges for database management in the internet of things [j]. *IETE Technical Review (Institution of Electronics and Telecommunication Engineers, India)*, v. 26, n. 5, p. 320–324, 2009.
- KAGERMANN, H. Change through digitization—value creation in the age of industry 4.0. In: *Management of permanent change*. [S.l.]: Springer, 2015. p. 23–45.
- KAGERMANN, H. *et al.* Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group. [S.l.]: Forschungsunion, 2013.
- KAGERMANN, H.; LUKAS, W.-D.; WAHLSTER, W. Industrie 4.0: Mit dem internet der dinge auf dem weg zur 4. industriellen revolution. *VDI nachrichten*, v. 13, n. 1, 2011.
- KAHL, G. A plugin framework to control electronic shelf labels. In: *ACM. Proceedings of the 2013 ACM conference on Pervasive and ubiquitous computing adjunct publication*. [S.l.], 2013. p. 1007–1014.
- KLETTI, J. *Manufacturing Execution System-MES*. [S.l.]: Springer, 2007.
- KLÖTZER, C.; WEISSENBORN, J.; PFLAUM, A. The evolution of cyber-physical systems as a driving force behind digital transformation. In: *IEEE. 2017 IEEE 19th Conference on Business Informatics (CBI)*. [S.l.], 2017. v. 2, p. 5–14.
- KOLBERG, D.; ZÜHLKE, D. Lean automation enabled by industry 4.0 technologies. *IFAC-PapersOnLine*, Elsevier, v. 48, n. 3, p. 1870–1875, 2015.
- KOLLMORGEN. *The Automated Guided Vehicle (AGV) market is on the rise*. 2018. Acessado: 2018-03-11. Disponível em: <[https://www.kollmorgen.com/en-us/blogs/\\_blog-in-motion/articles/samuel-alexandersson/automated-guided-vehicle-agv-market-on-the-rise/v](https://www.kollmorgen.com/en-us/blogs/_blog-in-motion/articles/samuel-alexandersson/automated-guided-vehicle-agv-market-on-the-rise/v)>.
- KOREN, Y.; SHPITALNI, M. Design of reconfigurable manufacturing systems. *Journal of manufacturing systems*, Elsevier, v. 29, n. 4, p. 130–141, 2010.
- KSHETRI, N. Can blockchain strengthen the internet of things? *IT professional*, IEEE, v. 19, n. 4, p. 68–72, 2017.
- LASI, H. *et al.* Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, v. 6, n. 4, p. 239–242, Aug 2014. ISSN 1867-0202. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>>.
- LEE, I.; LEE, K. The internet of things (iot): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, Elsevier, v. 58, n. 4, p. 431–440, 2015.
- LEITÃO, P. *et al.* Intelligent products: The grace experience. *Control Engineering Practice*, Elsevier, v. 42, p. 95–105, 2015.
- LOCH, F.; QUINT, F.; BRISHTEL, I. Comparing video and augmented reality assistance in manual assembly. In: *IEEE. 2016 12th International Conference on Intelligent Environments (IE)*. [S.l.], 2016. p. 147–150.

- LUN, R.; ZHAO, W. A survey of applications and human motion recognition with microsoft kinect. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, World Scientific, v. 29, n. 05, p. 1555008, 2015.
- MAROLT, M.; PUCIHAR, A.; ZIMMERMANN, H.-D. Social crm adoption and its impact on performance outcomes: A literature review. *Organizacija*, v. 48, n. 4, p. 260–271, 2015.
- MEHRABI, M. G.; ULSOY, A. G.; KOREN, Y. Reconfigurable manufacturing systems and their enabling technologies. *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, Inderscience Publishers, v. 1, n. 1, p. 114–131, 2000.
- MEREDITH, J. Building operations management theory through case and field research. *Journal of operations management*, Elsevier, v. 16, n. 4, p. 441–454, 1998.
- MERKEL, L. *et al.* Teaching smart production: An insight into the learning factory for cyber-physical production systems (lvp). *Procedia Manufacturing*, Elsevier, v. 9, p. 269–274, 2017.
- MIL, P. D. *et al.* Design and implementation of a generic energy-harvesting framework applied to the evaluation of a large-scale electronic shelf-labeling wireless sensor network. *EURASIP journal on wireless communications and networking*, Nature Publishing Group, v. 2010, n. 1, p. 343690, 2010.
- MIORANDI, D. *et al.* Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad hoc networks*, Elsevier, v. 10, n. 7, p. 1497–1516, 2012.
- MUNERA, E. *et al.* Control kernel in smart factory environments: Smart resources integration. In: IEEE. *2015 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER)*. [S.l.], 2015. p. 2002–2005.
- NAGORNY, K.; COLOMBO, A. W.; SCHMIDTMANN, U. A service-and multi-agent-oriented manufacturing automation architecture: An iec 62264 level 2 compliant implementation. *Computers in Industry*, Elsevier, v. 63, n. 8, p. 813–823, 2012.
- NELLES, J. *et al.* Human-centered design of assistance systems for production planning and control: The role of the human in industry 4.0. In: IEEE. *2016 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*. [S.l.], 2016. p. 2099–2104.
- NING, H.; LIU, H. Cyber-physical-social-thinking space based science and technology framework for the internet of things. *Science China Information Sciences*, v. 58, n. 3, p. 1–19, 2015.
- OLIVER, I. *et al.* Integration and uses of rf memory tags with smart space semantic web middleware. In: IEEE. *2009 IEEE Conference on Emerging Technologies & Factory Automation*. [S.l.], 2009. p. 1–8.
- PARK, J.-S.; JANG, B.-J. Electronic shelf label system employing a visible light identification link. In: IEEE. *2016 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS)*. [S.l.], 2016. p. 219–222.
- PÉREZ-EXPÓSITO, J. *et al.* Vinesens: An eco-smart decision-support viticulture system. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 17, n. 3, p. 465, 2017.
- PIZZIO, É. Avaliação da vida em fadiga de uniões parafusadas: estudo de caso. 2005.
- QI, Q.; TAO, F. Digital twin and big data towards smart manufacturing and industry 4.0: 360 degree comparison. *Ieee Access*, IEEE, v. 6, p. 3585–3593, 2018.
- QING, H. Research and application of virtual reality technology in mechanical maintenance. IET, 2010.

- REIS, J.; PINTO, R.; GONÇALVES, G. Human-centered application using cyber-physical production system. In: IEEE. *IECON 2017-43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. [S.l.], 2017. p. 8634–8639.
- ROBLA-GÓMEZ, S. *et al.* Working together: A review on safe human-robot collaboration in industrial environments. *IEEE Access*, IEEE, v. 5, p. 26754–26773, 2017.
- ROBLEK, V. *et al.* The impact of social media to value added in knowledge-based industries. *Kybernetes*, Emerald Group Publishing Limited, v. 42, n. 4, p. 554–568, 2013.
- ROCCO, R. A.; BUSH, A. J. Exploring buyer-seller dyadic perceptions of technology and relationships: Implications for sales 2.0. *Journal of Research in Interactive Marketing*, Emerald Group Publishing Limited, v. 10, n. 1, p. 17–32, 2016.
- RODRIGUEZ, M.; TRAINOR, K. A conceptual model of the drivers and outcomes of mobile crm application adoption. *Journal of Research in Interactive Marketing*, Emerald Group Publishing Limited, v. 10, n. 1, p. 67–84, 2016.
- SACHA, D. *et al.* What you see is what you can change: Human-centered machine learning by interactive visualization. *Neurocomputing*, Elsevier, v. 268, p. 164–175, 2017.
- SCHLAEPFER, D. R. C.; KOC, M. Deloitte ag, industry 4.0: Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies, audit, tax, consulting. *Corporate Finance*, 2015.
- SCHNEIDER, M.; RAMBACH, J.; STRICKER, D. Augmented reality based on edge computing using the example of remote live support. In: IEEE. *2017 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*. [S.l.], 2017. p. 1277–1282.
- SHIN, C. *et al.* Mobile augmented reality mashup for future iot environment. In: IEEE. *2014 IEEE 11th Intl Conf on Ubiquitous Intelligence and Computing and 2014 IEEE 11th Intl Conf on Autonomic and Trusted Computing and 2014 IEEE 14th Intl Conf on Scalable Computing and Communications and Its Associated Workshops*. [S.l.], 2014. p. 888–891.
- SHU, L. *et al.* Challenges and research issues of data management in iot for large-scale petrochemical plants. *IEEE Systems Journal*, IEEE, v. 12, n. 3, p. 2509–2523, 2017.
- SOMMER, L. Industrial revolution-industry 4.0: Are german manufacturing smes the first victims of this revolution? *Journal of Industrial Engineering and Management*, Vicenc Fernandez, v. 8, n. 5, p. 1512, 2015.
- STANDARDIZATION, I. O. for. *Ergonomics of Human-system Interaction: Part 210: Human-centred Design for Interactive Systems*. [S.l.]: ISO, 2010.
- SUÁREZ-ALBELA, M. *et al.* A practical evaluation of a high-security energy-efficient gateway for iot fog computing applications. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 17, n. 9, p. 1978, 2017.
- \_\_\_\_\_. Home automation system based on intelligent transducer enablers. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 16, n. 10, p. 1595, 2016.
- SUTHERLAND, I. E. The ultimate display. *Multimedia: From Wagner to virtual reality*, p. 506–508, 1965.

- \_\_\_\_\_. A head-mounted three dimensional display. In: ACM. *Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I*. [S.l.], 1968. p. 757–764.
- TSENG, M. M.; HU, S. J. Mass customization. In: *CIRP encyclopedia of production engineering*. [S.l.]: Springer, 2014. p. 836–843.
- WANG, H. *et al.* Big data and industrial internet of things for the maritime industry in northwestern norway. In: IEEE. *TENCON 2015-2015 IEEE Region 10 Conference*. [S.l.], 2015. p. 1–5.
- WANG, Y.; HU, Y. Design of electronic shelf label systems based on zigbee. In: IEEE. *2013 IEEE 4th International Conference on Software Engineering and Service Science*. [S.l.], 2013. p. 415–418.
- WEBER, E. Industrie 4.0-wirkungen auf wirtschaft und arbeitsmarkt. *Wirtschaftsdienst*, Heidelberg: Springer, v. 95, n. 11, p. 722–723, 2015.
- WOLLSCHLAEGER, M.; SAUTER, T.; JASPERNEITE, J. The future of industrial communication: Automation networks in the era of the internet of things and industry 4.0. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, IEEE, v. 11, n. 1, p. 17–27, 2017.
- XIONG, G. *et al.* From mind to products: Towards social manufacturing and service. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, IEEE, v. 5, n. 1, p. 47–57, 2018.
- XU, J.; LI, W. Design of electronic shelf label based on electronic paper display. In: IEEE. *2013 3rd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks*. [S.l.], 2013. p. 250–253.
- XU, L. D.; HE, W.; LI, S. Internet of things in industries: A survey. *IEEE Transactions on industrial informatics*, IEEE, v. 10, n. 4, p. 2233–2243, 2014.
- YIN, R. K. *Estudo de Caso-: Planejamento e Métodos*. [S.l.]: Bookman editora, 2015.
- ZHANG, H.-T.; CHEN, Z.; MO, X. Effect of adding edges to consensus networks with directed acyclic graphs. *IEEE Transactions on Automatic Control*, IEEE, v. 62, n. 9, p. 4891–4897, 2017.
- ZHAO, W. *et al.* A human-centered activity tracking system: Toward a healthier workplace. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, IEEE, v. 47, n. 3, p. 343–355, 2017.
- ZHOU, C. H. *et al.* An electronic shelf label system based on wsn. In: TRANS TECH PUBL. *Advanced Materials Research*. [S.l.], 2013. v. 765, p. 1718–1721.