

**UNIVERSIDADE DE SOROCABA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA, EXTENSÃO E INOVAÇÃO.
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROCESSOS
TECNOLÓGICOS E AMBIENTAIS**

Jaime Ranulfo Leite Filho

***TEMPLATE* DE MANUFATURA AVANÇADA E SUAS INFLUÊNCIAS NA
PRODUTIVIDADE INDUSTRIAL: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DO
SETOR ALIMENTÍCIO**

**Sorocaba/SP
2020**

Jaime Ranulfo Leite Filho

***TEMPLATE DE MANUFATURA AVANÇADA E SUAS INFLUÊNCIAS NA
PRODUTIVIDADE INDUSTRIAL: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DO
SETOR ALIMENTÍCIO***

Dissertação apresentada à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Processos Tecnológicos e Ambientais da Universidade de Sorocaba, como exigência parcial para obtenção do título de Mestre em Processos Tecnológicos e Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Norberto Aranha

**Sorocaba/SP
2020**

Ficha Catalográfica

L552t Leite Filho, Jaime Ranulfo
Template de manufatura avançada e suas influências na
produtividade industrial: estudo de caso em uma empresa do setor
alimentício / Jaime Ranulfo Leite Filho. – 2020.
168 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Norberto Aranha
Dissertação (Mestrado em Processos Tecnológicos e Ambientais)
– Universidade de Sorocaba, Sorocaba, SP, 2020.

1. Processos de fabricação. 2. Administração da produção. 3.
Automação industrial. 4. Produtividade industrial. 5. Alimentos –
Indústria. 6. Gestão da qualidade. I. Aranha, Norberto, orient. II.
Universidade de Sorocaba. III. Título.

Jaime Ranulfo Leite Filho

***TEMPLATE DE MANUFATURA AVANÇADA E SUAS INFLUÊNCIAS NA
PRODUTIVIDADE INDUSTRIAL: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DO
SETOR ALIMENTÍCIO***

Dissertação aprovada como requisito
para obtenção do grau de Mestre no
Programa de Pós-Graduação em
Processos Tecnológicos e Ambientais da
Universidade de Sorocaba.

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Norberto Aranha,
Universidade de Sorocaba

Prof. Dr. Daniel Bertoli Gonçalves,
Universidade de Sorocaba

Prof. Dr. José Roberto Garcia,
Universidade de Sorocaba

*Não fui eu que ordenei a você?
Seja forte e corajoso! Não se
apavore nem desanime, pois o
Senhor, o seu Deus, estará com
você por onde você andar".*

Josué 1:9

AGRADECIMENTOS

Por esse feito e todo o aprendizado recebido ao longo da minha vida, sobretudo neste ano de 2020 que tem sido o ano mais desafiador na minha jornada que se somou à trágica pandemia que assola nosso planeta, tornando ainda mais desafiadora a conclusão deste trabalho, portanto gostaria de agradecer ao grande arquiteto do universo, a verdadeira essência dos seres humanos, Deus. Agradeço a toda a minha família, minha companheira Glaucia, meu filho Matheus e a você, que esta dedicando seu tempo na leitura desse trabalho, espero que ele possa contribuir de alguma forma na sua pesquisa e/ou seus objetivos, sejam eles acadêmicos ou profissionais.

Jaime Ranulfo Leite Filho

“Em três anos, todos os produtos da minha companhia estarão obsoletos. A única pergunta é se somos nós mesmos os que vão deixá-los obsoletos ou se outra pessoa fará isso primeiro.”

Bill Gates

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo propor, aplicar e avaliar um modelo experimental denominado *Template* de Manufatura Avançada (TMA) para o aumento da produtividade na sala de enchimento de concentrado em pó de uma empresa do setor alimentício. Focou-se o estudo na máquina enchedora denominada Klockner, cuja produtividade não atendia a demanda do ano de 2019, com apenas 57%, devendo esta atingir um índice de produtividade global da ordem de 85% (OEE). Utilizou-se as tecnologias da manufatura avançada e a metodologia DMAIC para definição, mensuração, análise, aperfeiçoamento e controle das ações de melhoria a fim de se obter resultados sustentáveis. O escopo do experimento situou-se na aplicação do TMA, para fins de telemetria, no processo da sala de enchimento de sólidos, focando principalmente a etapa de *setup* e operação da máquina enchedora Klockner. Desta forma coletando dados em tempo real dando origem ao indicador de eficiência global, OEE. O experimento desenvolveu-se no ambiente de chão de fábrica, onde se determinaram as possíveis variáveis com correlações significativas para o decréscimo da produtividade, inferindo a elas, hipóteses de causas e consequentemente testes para respectivas melhorias. O estudo comprovou as deficiências na enchedora Klockner predominantemente nas operações de *setup* e manutenção do equipamento com impacto negativo na produtividade e conduziu às ações de melhoria sustentáveis, tais como: compra de ingrediente em embalagem big bag, controle de humidade e controle da oscilação da energia elétrica, que resultaram em acréscimos de 44% no índice OEE, 122% no índice MTBF e redução de 38% no MTTR na sala de enchimento de sólidos, além da elevação do nível técnico dos membros da equipe envolvida no projeto após a implementação dos treinamentos e da mudança de cultura com relação à eliminação de perdas inerentes ao processo. Concluiu-se que o *template* de manufatura avançada desenvolvido neste trabalho, combinado com técnicas de manufatura enxuta, foi eficaz no processo de identificação de causas, proporcionando soluções simples e criativas para os problemas identificados, gerando um novo mapa de fluxo de valor, e um roteiro de implementação enxuto que poderá ser aplicado em toda a cadeia produtiva.

Palavras-chave: Processos de fabricação. Administração da produção. Automação industrial. Produtividade industrial. Gestão da qualidade.

ABSTRACT

This work aimed to propose, apply and evaluate an experimental model called Advanced Manufacturing Template (TMA) to increase productivity in the powder concentrate filling room of a company in the food sector. The study focused on the filling machine called Klockner, whose productivity did not meet the demand of the year 2019, with only 57%, which should reach a global productivity index of the order of 85% (OEE). Advanced manufacturing technologies and the DMAIC methodology were used to define, measure, analyze, improve and control improvement actions in order to obtain sustainable results. The scope of the experiment was in the application of TMA, for telemetry purposes, in the solid filling room process, focusing mainly on the setup and operation of the Klockner filling machine. Thus collecting data in real time giving rise to the global efficiency indicator, OEE. The experiment was carried out in the factory floor environment, where possible variables were determined with significant correlations for the decrease in productivity, inferring to them, hypotheses of causes and consequently tests for respective improvements. The study proved the deficiencies in the Klockner filler predominantly in the setup and maintenance operations of the equipment with a negative impact on productivity and led to sustainable improvement actions, such as: ingredient purchase in big bag packaging, humidity control and energy oscillation control electricity, which resulted in increases of 44% in the OEE index, 122% in the MTBF index and a 38% reduction in the MTTR in the solid filling room, in addition to the increase in the technical level of the team members involved in the project after the implementation of the training courses and the change in culture regarding the elimination of losses inherent to the process. It was concluded that the advanced manufacturing template developed in this work, combined with lean manufacturing techniques, was effective in the process of identifying causes, providing simple and creative solutions to the problems identified, generating a new value flow map, and a lean implementation roadmap that can be applied throughout the production chain.

Keywords: Manufacturing processes. Production management. Industrial automation. Industrial productivity. Quality management.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

5W2H	Cinco porquês e dois como
ANALYTICS	Sistema de análise e depuração dos dados do Bigdata
ANOVA	Análise de variância
AP	<i>Access Point</i>
BIGDATA	Grande massa de dados brutos
BMS	Sistemas de Manufatura Biológicos
BPEL	<i>Business Process Execution Language</i>
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CAM	<i>Computer-aided manufacturing</i>
CEP	Controle Estatístico de Processo
CNC	<i>Computer Numerical Control</i>
COAP	<i>Constrained Application Protocol</i>
COM/DCOM	Distributed Component Object Model
CPD	Centro de Processamento de Dados
CpK	Índice de capacidade comparado a uma constante k.
CPPS	<i>Cyber-physical production system</i>
CPSs	<i>Cyber-physical system</i>
CQT	Controle da Qualidade total
CTQ	<i>Critical to Quality</i>
DFSS	<i>Design for Six Sigma</i>
DMADV	<i>Define, Measure, Analyze, Design, Verify</i>
DMAIC	<i>Define, Measure, Analyze, Improve, Control</i>
DPMO	Defeitos por milhão de oportunidades
DPO	Defeitos por oportunidade
DPU	Defeitos por unidade
EPC	<i>Eletronic Product Code</i>
ERP	<i>Enterprise Resources Planning</i>
EVOP	Operação Evolutiva
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>
GPS	<i>Global Position System</i>
GQT	Gestão de Qualidade Total
h	Horas
HMS	Sistemas de Manufatura Holônicos
HTTP	<i>Hyper Text Transport Protocol</i>
IAAS	<i>Infrastructure as a Service</i>
IMS	Sistemas de manufatura inteligente
IoS	<i>Internet of Services</i>
IOT	<i>Internet of Things</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPv6	<i>Internet Protocol version 6</i>
JIT	<i>Just-in-time</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
LIE	Limite Inferior Especificado
LSE	Limite Superior Especificado
M2M	<i>Machine to Machine</i>

MES	<i>Manufacturing Execution Systems</i>
MGRID	Rede de Fabricação
MO	Mão de Obra
MP	Matéria Prima
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
MTBF	<i>Mean Time Between Failure</i>
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i>
NDA	<i>Non Disclosure Agreement</i>
OEE	<i>Overall efficiency equipment</i>
ONS	<i>Object Naming Service</i>
OPC-DA	<i>Open Platform Communications Data Access</i>
OPC-UA	<i>Open Platform Communications Unified Architecture</i>
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PAAS	<i>Platform as a Service</i>
PAE	Projeto e Análise de Experimento
PCs	<i>Personal Computers</i>
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
PDR	Taxa de Defeito de Produto
PLC	Controlador Lógico Programável
PMCS	Sistema de Controle e Gerenciamento de Processo
QoS	Qualidade de Serviço
RFID	Radio Frequency Identifier
RMS	Sistemas de Manufatura Reconfiguráveis
S	Desvio padrão da amostra
SAAS	<i>Software as a Service</i>
SDR	Taxa de Defeito de Serviço
SGI	Sistema de Gestão Integrada
SGQ	Sistema de Gestão da Qualidade
SIPOC	<i>Supplier, Input, Process, Output, Customer</i>
SMED	<i>Single Minute Exchange Die</i>
SMTP	<i>Simple Mail Transfer Protocol</i>
SOA	<i>Service-Oriented Architecture</i>
SOAP	<i>Simple Object Access Protocol</i>
SSID	<i>Short for service set identifier</i>
SSL	<i>Secure Socket Layer</i>
STP	Sistema Toyota de Produção
TDS	Taxa de Defeito de Serviço
TI	Tecnologia da Informação
TIC	Tecnologia de Informação e Comunicação
TLS	<i>Transport Layer Security</i>
TOLLGATE	Pedágio
TPM	<i>Total Preventive Maintenance</i>
TPS	<i>Toyota Production System</i>
TQM	<i>Total Quality Management</i>
UDP/IP	<i>User Datagram Protocol</i>
UI	<i>User Interface</i>
URL	<i>Uniform Resource Locator</i>
URN	<i>Uniform Resource Name</i>

VOC	<i>Voice Of Client</i>
VSM	Mapeamento do Fluxo de Valor (<i>Value Stream Mapping</i>)
WIP	Work In Process
WSDL	<i>Web Service Description Language</i>
WSN	<i>Wireless sensor network</i>
XML-DA	<i>Extensible Markup Language Data Access</i>

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Cronologia das revoluções industriais.....	33
Figura 2 – A evolução dos sistemas embarcados até a <i>IoT</i> , Dados e Serviços.....	36
Figura 3 – Interação humanos-máquinas em Sistemas de Produção ciber físicos. ..	36
Figura 4 – Esquema de Fábricas Inteligentes na Manufatura Avançada.	39
Figura 5 – Computação na nuvem.	43
Figura 6 – Arquitetura em camadas para <i>IoT</i>	48
Figura 7 – Operação de uma <i>Web Service</i> baseado em SOAP.....	56
Figura 8 – Arquitetura MQTT.....	57
Figura 9 – Cálculo do <i>takt time</i>	67
Figura 10 – Estrutura do Conceito do TMA.	77
Figura 11 – Fluxo de aplicação método DMAIC do Seis Sigma.	79
Figura 12 – Diagrama de Sequência das tarefas do <i>Advantech WISE-4050</i>	87
Figura 13 – Foto do TMA montado.....	88
Figura 14 – Instalação do <i>Advantech WISE-4050</i> trilho DIN (frontal).....	90
Figura 15 – Instalação do <i>Advantech WISE-4050</i> trilho DIN (traseira).....	90
Figura 16 – Esquema de conexão de sensores no <i>WISE-4050</i>	90
Figura 17 – Diagrama elétrico do TMA.....	91
Figura 18 – Tela para pesquisar dispositivos móveis via rede <i>wireless</i>	91
Figura 19 – Tela de <i>login</i> de acesso do <i>WISE-4050</i>	92
Figura 20 – Tela de configuração <i>wireless</i> do <i>WISE-4050</i>	92
Figura 21 – Tela de configuração <i>cloud</i> do <i>WISE-4050</i>	93
Figura 22 – Tela de ativação da função PUSH no módulo <i>WISE-4050</i>	93
Figura 23 – Website para instalação e configuração do <i>Broker Server MQTT</i>	94
Figura 24 – Tela para criação de Instâncias no CloudMQTT.	94
Figura 25 – Configurações da Instância do CloudMQTT.	95
Figura 26 – Tela Websocket para verificação do status do CloudMQTT.	95
Figura 27 – Fluxograma do TMA.....	96
Figura 28 – Modelo relacional da base de dados implementada.	97
Figura 29 – Funcionalidades da aplicação Android a implementar.	98
Figura 30 – Código de Barras de Teste.	107
Figura 31 – Códigos de Barras dos Motivos de tempo de inatividade.....	107
Figura 32 – Códigos de barras de peças.	109

Figura 33 – Impressão dos códigos de barras do trabalho.	111
Figura 34 – Códigos de barras dos motivos de paradas.	113
Figura 35 – Eficiência Global Klockner em Outubro/2019.	116
Figura 36 – Horas-extras na sala de enchimento.	117
Figura 37 – Paradas de linha na sala de enchimento.	117
Figura 38 – Estratificação <i>downtime</i> Klockner em Outubro de 2019.	119
Figura 39 – Fluxo de processo e pontos de coletas de dados.	121
Figura 40 – Diagrama de causa-efeito das paradas na enchedora Klockner.	123
Figura 41 – Diagrama de causa-efeito das paradas na esteira transportadora.	126
Figura 42 – Diagrama de causa efeito de parada na montadora de caixas.	128
Figura 43 – Diagrama de causa efeito das paradas na seladora de saco.	130
Figura 44 – Matriz de soluções <i>downtime</i> Klockner.	132
Figura 45 – Matriz de soluções <i>downtime</i> esteira.	133
Figura 46 – Matriz de soluções para paradas na seladora de saco.	134
Figura 47 – OEE enchedora Klockner de Outubro-2019 a Fevereiro-2020.	137
Figura 48 – MTBF Tempo Médio Entre Falhas.	137
Figura 49 – MTTR Tempo Médio Para Reparo.	138
Figura 50 – Perfil dos Entrevistados.	139
Figura 51 – Respostas dos Formulários das Entrevistas.	140
Quadro 1 – <i>Smart factory implementation status across geographies</i>	22
Quadro 2 – Pesquisa CNI.	22
Quadro 3 – <i>The Global Competitiveness Report (2017–2018)</i>	23
Quadro 4 – Estrutura do trabalho.	25
Quadro 5 – Funil dos artigos utilizados no trabalho.	27
Quadro 6 – Gráfico de barras das publicações anuais de artigos.	27
Quadro 7 – Diagrama de rede das palavras chave x autores.	28
Quadro 8 – Nuvem de palavras chaves mais citadas.	29
Quadro 9 – Estrutura das seções a partir das palavras-chave.	32
Quadro 10 – As Ferramentas da Manufatura Enxuta.	62
Quadro 11 – Eficiência global do Equipamento.	66
Quadro 12 – Características das tecnologias disponíveis.	74
Quadro 13 – Técnicas de coleta e tratamento de dados por objetivos.	76
Quadro 14 – Características dos equipamentos considerados para o TMA Device.	86
Quadro 15 – Indicadores de performance Klockner.	120

Tabela 1 – Métodos HTTP e correspondentes operações CRUD.....	55
Tabela 2 – Conversão de capacidade do processo e sigma.....	70
Tabela 3 – Dispositivos com funcionalidades similares às do projeto.	72
Tabela 4 – Requisitos funcionais do TMA.	79
Tabela 5 – Relação dos materiais utilizados no TMA.....	87
Tabela 6 – Eficiência atual da Klockner e proposta de melhoria.....	118
Tabela 7 – Cálculo MTBF e MTTR Klockner em Outubro de 2019.	119
Tabela 8 – Proposta de melhoria do MTBF/MTTR.....	120
Tabela 9 – Validação das causas raiz da enchedora Klockner.	125
Tabela 10 – Validação causas raiz da enchedora Klocker.....	127
Tabela 11 – Validação causas raiz das paradas na montadora de caixa.....	129
Tabela 12 – Validação das causas raiz das paradas na seladora de saco.....	131
Tabela 13 – Resultados da implementação do TMA.....	138

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	20
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO.....	21
1.2.1	Objetivo Geral.....	21
1.2.2	Objetivos Específicos	21
1.3	JUSTIFICATIVA	22
1.4	LIMITAÇÕES.....	24
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	24
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
2.1	REVISÃO SISTEMÁTICA.....	26
2.2	ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA.....	27
2.3	PALAVRAS CHAVE	28
2.4	MANUFATURA AVANÇADA.....	33
2.4.1	Introdução a Manufatura Avançada.....	33
2.4.2	Sistemas ciber físicos (CPS)	35
2.4.3	Fábricas Inteligentes (<i>Smart Factories</i>)	38
2.5	TECNOLOGIAS HABILITADORAS	40
2.5.1	<i>Cloud Computing</i> no Contexto da Manufatura.....	40
2.5.2	Internet das Coisas (<i>IoT</i>)	46
2.5.3	Integração Vertical.....	52
2.6	MANUFATURA ENXUTA	59
2.6.1	Introdução a Manufatura Enxuta	59
2.6.2	Ferramentas da Manufatura Enxuta	62
2.6.3	Indicadores de <i>Performance</i>	64
2.7	SOLUÇÕES DISPONÍVEIS NO MERCADO	72
2.7.1	<i>Mobile Measuring Box System</i>	72
2.7.2	Model INT-OEE	73
2.7.3	Proficy OEE	73
2.7.4	<i>Wonderware MES Software</i>	73
2.7.5	<i>PerformOEE</i>	74

3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	75
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	75
3.2	VARIÁVEIS DO PROBLEMA DA PESQUISA	75
3.3	HIPÓTESES EXPERIMENTAIS	75
3.4	TÉCNICAS UTILIZADAS PARA COLETA DE DADOS	76
3.5	DEFINIÇÃO DO TMA	77
3.5.1	Definir as Tecnologias Habilitadoras	78
3.5.2	Definir os Indicadores de Performance.....	78
3.5.3	Definir Requisitos Funcionais do TMA.....	78
3.6	MÉTODO IMPLANTACAO DO TMA	79
3.6.1	Etapa Definir	80
3.6.2	Etapa Medir	81
3.6.3	Etapa Analisar	81
3.6.4	Etapa Melhorar	82
3.6.5	Etapa Controlar	82
4	ESTUDO DE CASO.....	84
4.1	SETOR ALIMENTÍCIO	84
4.2	EMPRESA ESTUDO DE CASO	84
4.3	ACORDO DE NÃO DIVULGAÇÃO.....	84
4.4	CONSTRUÇÃO DO TMA	85
4.4.1	Construção do TMA <i>Device</i>	85
4.4.2	Construção do TMA Management Center	96
4.4.3	Configuração do TMA <i>Management Center</i>	101
4.5	APLICAÇÃO DO TMA	115
4.6	APLICACAO DO MÉTODO DMAIC.....	115
4.6.1	Definição da Situação Inicial.....	116
4.6.2	Medição dos Indicadores de Desempenho.....	120
4.6.3	Análise das Causas-raiz	122
4.6.4	Melhorar o Processo.....	131
4.6.5	Controlar o Processo	136
4.7	RESULTADOS E DISCUSSÕES	136
4.8	AVALIAÇÃO DO TMA	139

5	CONCLUSÕES	142
	CONTRIBUIÇÕES	145
	TRABALHOS FUTUROS.....	145
	RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES DO PROJETO	145
	REFERÊNCIAS.....	147
	ANEXO A – NON DISCLOSURE AGREEMENT – NDA	154
	ANEXO B – CARACTERÍSTICAS DA MANUFATURA AVANÇADA	160
	ANEXO C – PRÉ-REQUISITOS DE TECNOLOGIAS HABILITADORAS.....	161
	ANEXO D – PRÉ-REQUISITOS DE INDICADORES DE PERFORMANCE.....	162
	ANEXO E – ESPECIFICAÇÃO DAS FUNCIONALIDADES DO TMA.....	163
	ANEXO F – CODIGO FONTE DO PROGRAMA EM PYTHON	164
	ANEXO G – <i>SCRIPT</i> DE CRIAÇÃO DA BASE DE DADOS	165
	ANEXO H – <i>INTERFACES</i> DA APLICAÇÃO	167
	ANEXO I – FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO DO TMA	168

1 INTRODUÇÃO

A construção do caminho para uma manufatura mais integrada passa pela adoção de arquiteturas de referência e tecnologias de rede de comunicação que possibilitem uma conectividade com custos reduzidos, maior eficiência e maior disponibilidade.

Diante disso, Kagermann *et al.* (KAGERMANN; WOLFGANG; HELBIG, 2013) expõem um conjunto de recomendações para a implementação da iniciativa da Manufatura Avançada, uma dessas recomendações são ações voltadas para a padronização e a adoção de padrões abertos para a construção de um modelo de referência que conjugue todas as perspectivas dos elementos que compõem um sistema produtivo, tais como processos de manufatura, dispositivos, aplicações de software para o ambiente de manufatura e para os níveis de planejamento, e na perspectiva de engenharia em um sistema de manufatura.

A carência de uma arquitetura geral para o desenvolvimento das fábricas inteligentes conduz empresas e estudiosos da manufatura ao desenvolvimento de projetos e propostas de arquitetura de sistemas aderentes a Manufatura Avançada, tendo como base, uma ou a fusão de mais de uma das perspectivas citadas por Kagermann *et al.* (KAGERMANN; WOLFGANG; HELBIG, 2013).

Após uma análise das perspectivas de “Aplicações de *software*” e dos “Dispositivos em rede” é possível agir no sentido de projetar e implementar arquiteturas que envolvam sistemas baseados em serviços Web, sejam integrados através da internet das coisas (*IoT*), pessoas e outros serviços; que gerem informações em tempo real, tenha elevada disponibilidade, sejam orientados a serviços (SOA) e empreguem padrões abertos.

Nesse universo persistem atividades como monitoramento através da web via browser e dispositivos móveis, supervisão distribuída de máquinas, análises de tendências com bancos de dados situados na nuvem (*Cloud computing*), entre outros. No âmbito dos padrões abertos estão os protocolos aplicados à Internet (TCP/IP, HTTP, SMTP, etc) e protocolos para promover conectividade e interoperabilidade na manufatura como o MQTT.

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A iniciativa da Manufatura Avançada foi proposta pelas organizações de fomento a inovação na manufatura da Alemanha na forma de um conjunto de recomendações de implementação. No entanto, as referências nesse tema são poucas e o desenvolvimento dessas propostas não possui uma arquitetura de referência que combine todas as perspectivas que envolvem a manufatura. A premissa básica desse novo paradigma é que todos os insumos que constituem o sistema de produção, sejam elementos do mundo físico e virtual, estejam integrados e sejam rastreáveis em uma rede inteligente baseada na *Internet*.

O projeto da arquitetura do sistema de monitoramento/supervisão via Internet procura cumprir a terceira premissa, integração vertical, das três premissas que caracterizam os desenvolvimentos para a Manufatura Avançada, apontados no relatório *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0* (KAGERMANN; WOLFGANG; HELBIG, 2013) feito pela *Acatech*, Academia de Ciência e Engenharia da Alemanha, os quais são:

- Integração horizontal através de redes de valor;
- Integração digital de ponta a ponta de engenharia por toda a cadeia de valor;
- Integração vertical e sistemas de manufatura em rede, (foco do projeto).

Enunciou-se o seguinte problema ou questão para esta pesquisa:

Como cumprir a terceira recomendação feita pela Academia de Ciência e Engenharia da Alemanha, integração vertical e sistemas de manufatura em rede, em uma empresa do setor alimentício no Brasil?

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.2.1 Objetivo Geral

Propor, aplicar e avaliar um modelo experimental denominado *Template* de Manufatura Avançada - TMA para aquisição de dados em tempo real de linhas de produção em uma empresa do setor alimentício.

1.2.2 Objetivos Específicos

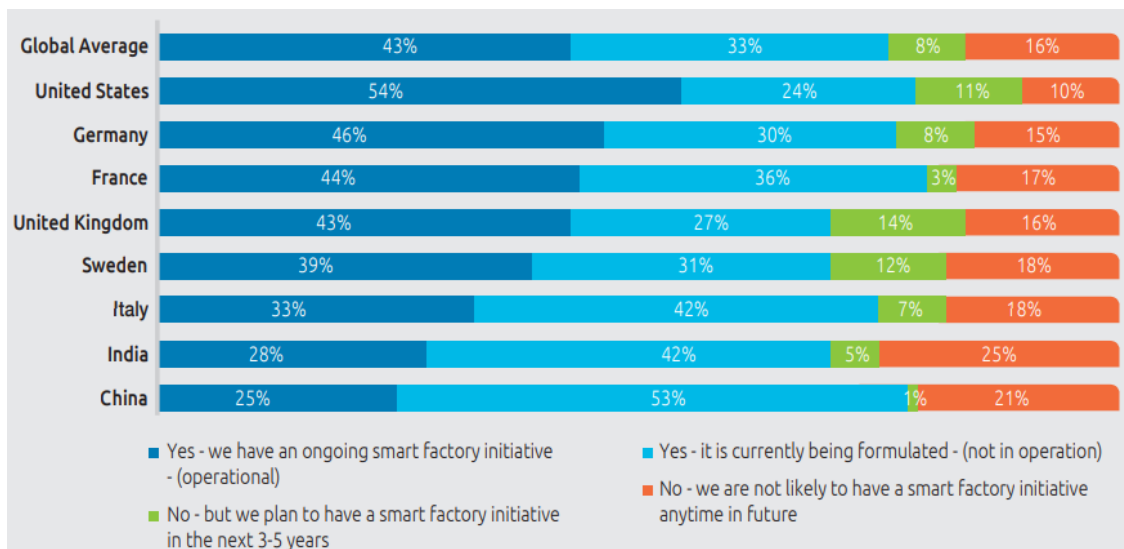
Para atingir o objetivo geral no presente trabalho, foram estabelecidos os objetivos específicos a seguir:

- a. Pesquisar os parâmetros de manufatura avançada presentes na literatura para determinar as características fundamentais em um *template* de manufatura avançada, TMA;
- b. Construir o TMA, desde a etapa de *hardware* até a de *software*, na forma de uma maleta funcional para fins de demonstração.
- c. Aplicar o TMA na indústria de estudo de caso, discussão dos resultados e testar as seguintes hipóteses:
 - c.1. Primeira hipótese experimental: Supor a efetividade do *template* de manufatura avançada em incrementar a produtividade na empresa objeto do estudo.
 - c.2. Segunda hipótese experimental: Supor a capacidade do *template* de manufatura avançada em perpetuar-se na empresa objeto de estudo após o término do projeto.
- d. Avaliar o TMA e suas influências na indústria do estudo de caso.

1.3 JUSTIFICATIVA

A manufatura avançada no Mundo, segundo a Capgemini (2017) 46% das indústrias na Alemanha, 54% nos Estados Unidos, 44% na França e 43% no Reino Unido já implementaram fábricas inteligentes, contra 28% na Índia e 25% na China, (Erro! Fonte de referência não encontrada.).

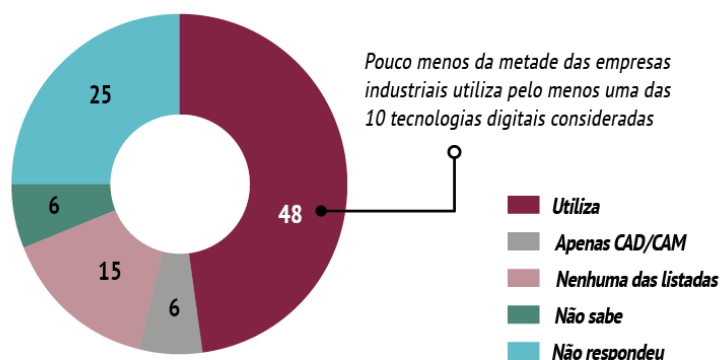
Quadro 1 – *Smart factory implementation status across geographies.*



Fonte: Capgemini Digital Transformation Institute, smart factory survey, February-March 2017.

A manufatura avançada no Brasil, de acordo com a pesquisa realizada pela Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2016), 52% das indústrias desconhecem as tecnologias digitais para melhorar a competitividade da indústria, (Quadro 2).

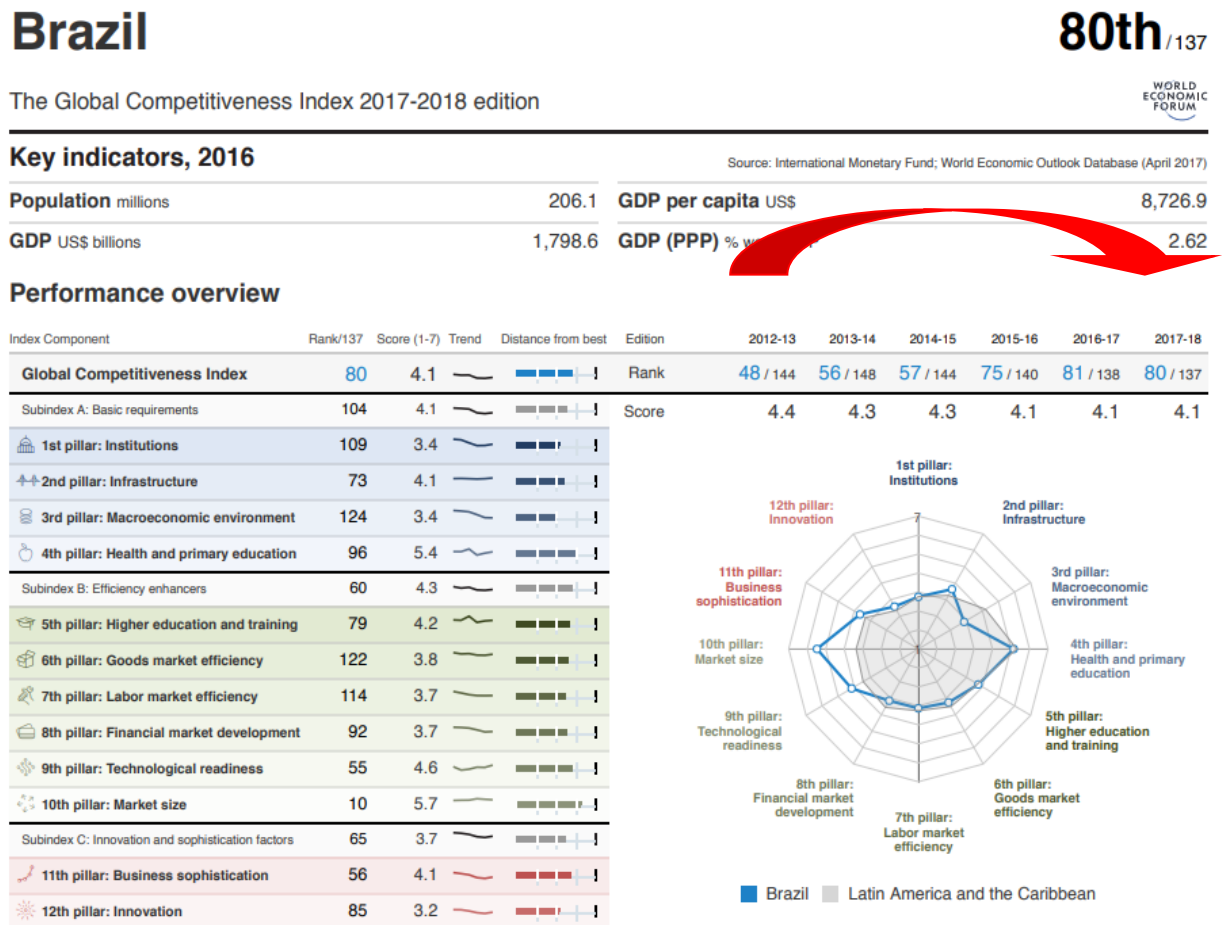
Quadro 2 – Pesquisa CNI
Utilização de pelo menos uma das 10 tecnologias digitais listadas
 Percentual de respostas (%)



Fonte: CNI, 2016.

Segundo Schwab (2018) no *The Global Competitiveness Report* (2017–2018), o Brasil caiu da 48ª posição em 2013 para 80ª em 2018 (Quadro 3), esses dados mostram que existe uma oportunidade e uma necessidade latente de iniciativas para melhorias nos processos produtivos das empresas do Brasil, por isso justifica a relevância deste trabalho.

Quadro 3 – The Global Competitiveness Report (2017–2018)



Fonte: *The Global Competitiveness Report* (2017–2018)

De acordo com o cenário mundial e nacional que foi apresentado, bem como a posição do Brasil no relatório de competitividade global, identifica-se a necessidade em desenvolver exemplos e modelos de soluções que contribuam com a introdução da manufatura avançada nas indústrias do Brasil. Desse modo, justifica-se a proposta do projeto, concepção e aplicação de um *template* de manufatura avançada para monitoramento e incremento de produtividade industrial.

1.4 LIMITAÇÕES

Esta pesquisa limita-se a uma proposta, aplicação e avaliação de um modelo experimental denominado TMA e interpretação dos resultados em uma indústria do setor alimentício. A aplicação se refere a esse escopo devido a restrições de recursos, localidade e disponibilidade. O método de pesquisa utilizado foi o estudo de caso, empregado em muitas situações para contribuir com o entendimento dos fenômenos organizacionais complexos, permitindo a percepção das características significativas dos eventos e processos. Esse método de pesquisa foi utilizado com a finalidade descritiva em caráter qualitativo e quantitativo.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é dividido em cinco capítulos, como apresentado no Quadro 4.

O Capítulo 1 é apresentado na forma de introdução, com os objetivos de estudo, relevância e limitações existentes.

O Capítulo 2 é subdividido de acordo com os temas utilizados para o desenvolvimento do estudo e baseado na revisão da literatura para apresentação do conceito de manufatura avançada, tecnologias habilitadoras da manufatura avançada, manufatura enxuta e soluções disponíveis no mercado.

No Capítulo 3 apresenta-se a metodologia adotada, dados e evidências sobre o tema.

No Capítulo 4 são explorados os resultados e discussões sobre o estudo de caso realizado em uma empresa do setor alimentício.

Finalizando o trabalho, no Capítulo 5, são apresentadas as conclusões.

Quadro 4 – Estrutura do trabalho.

Capítulo 1 Introdução	- Problema da pesquisa; - Objetivo geral e específicos; - Justificativa; - Limitação;
Capítulo 2 Revisão Bibliográfica	- Apresentação do conceito de manufatura avançada; - Contextualização das tecnologias habilitadoras; - Apresentação do conceito de manufatura enxuta, práticas e indicadores de performance (métricas Lean); - Apresentação das soluções disponíveis no mercado.
Capítulo 3 Materiais e Métodos	- Procedimentos para a realização da pesquisa, evidenciando-se os métodos, tipo de abordagem, seus objetivos e procedimento técnico;
Capítulo 4 Resultados e Discussão	- Exploração das etapas do estudo de caso realizadas em uma organização do setor alimentício; - Discussão dos resultados obtidos;
Capítulo 5 Conclusões	- Conclusões do autor. - Ganhos Qualitativos - Ganhos Quantitativos - Trabalhos Futuros

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como objetivo elucidar o estado da arte adjacente à manufatura avançada, tecnologias habilitadoras, manufatura enxuta e soluções disponíveis no mercado. Portanto, apresenta uma revisão sistemática expressa através de uma análise bibliométrica e de uma análise de conteúdo. Quanto à análise de conteúdo, a ferramenta é utilizada para ilustrar os principais temas relacionados com a pesquisa.

2.1 REVISÃO SISTEMÁTICA

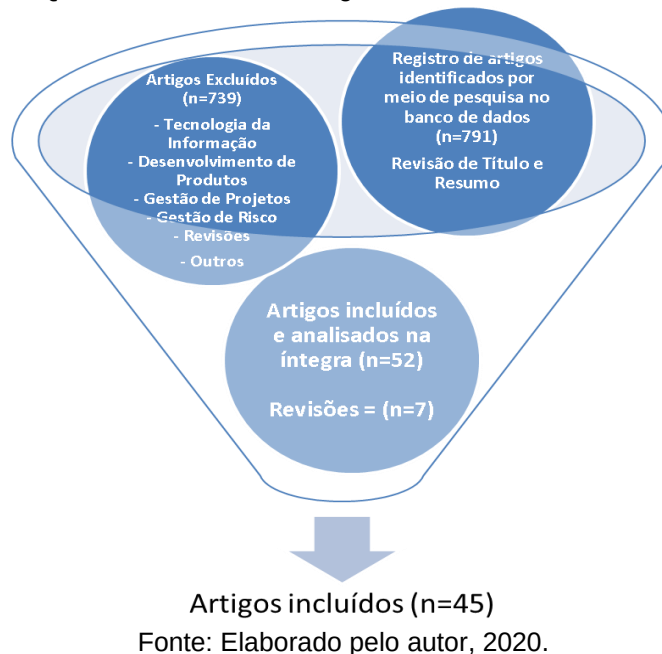
Buscando melhor ilustrar o estado da arte das ferramentas de avaliação utilizadas na manufatura avançada, realizou-se uma revisão sistemática segundo o processo proposto por (TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, 2013). Para a análise dos resultados empregou-se a análise bibliométrica, modelo proposto por (GONÇALVES FILHO M.; CAMPOS, F.C.; ASSUMPÇÃO, 2016).

Foram realizadas buscas por artigos científicos nas bases de dados, *Scopus*, *Web of Science* e *Scielo*, uma vez que estão entre as bases multidisciplinares com maiores acervos e estão disponíveis para acesso por meio do Portal CAPES. As buscas se concentraram do ano de 2010 a 2020, pois o interesse foi conhecer o material mais recente disponível em relação ao tema. Como critério de inclusão foram selecionados artigos associados com *Lean Six Sigma* e *Lean Manufacturing* com datas anteriores a 2010, onde existe vasta literatura, devido ao tema já ser bem difundido na academia. As palavras-chave utilizadas foram: **Template** e suas combinações com as palavras, **Indústria 4.0**, **Manufatura Avançada**, **Produtividade**, **Excelência Operacional**, **Manufatura Enxuta**, **Indicadores de Performance** e **Seis Sigma**. Em inglês temos: **Template**, **Industry 4.0**, **Advanced Manufacturing**, **Productivity**, **Operational Excellence**, **Lean Manufacturing**, **Key Performance** e **Six Sigma**.

Por meio de buscas realizadas nas bases de dados em meados de julho de 2019, foram encontrados 791 artigos com potencial relevância, dos quais foi feita a leitura dos títulos e resumos. Destes, 739 artigos foram excluídos por abordarem outros temas conforme apresentado no Quadro 5. Os outros 52 artigos passaram

para a fase seguinte e foram lidos na íntegra, apenas 45 foram incluídos na análise, uma vez que, sete deles não discutem o tema abordado nesta pesquisa.

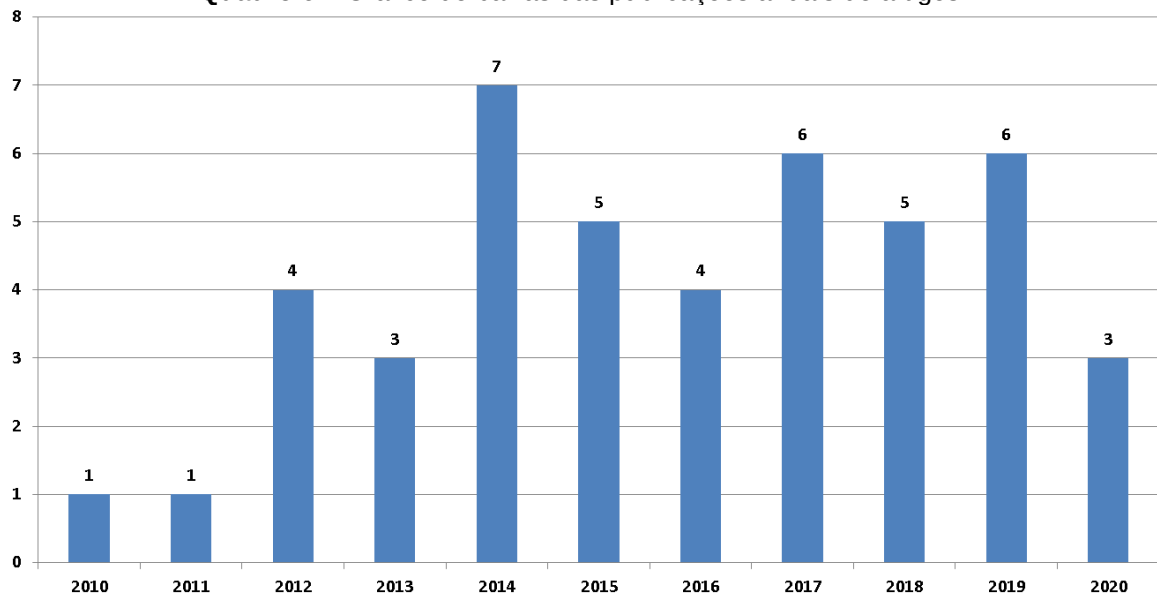
Quadro 5 – Funil dos artigos utilizados no trabalho.



2.2 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Dentre os artigos selecionados, as publicações concentram-se entre os anos de 2014 a 2019 com um pico de publicações em 2014, o Quadro 6 demonstra um interesse crescente para o tema neste ano.

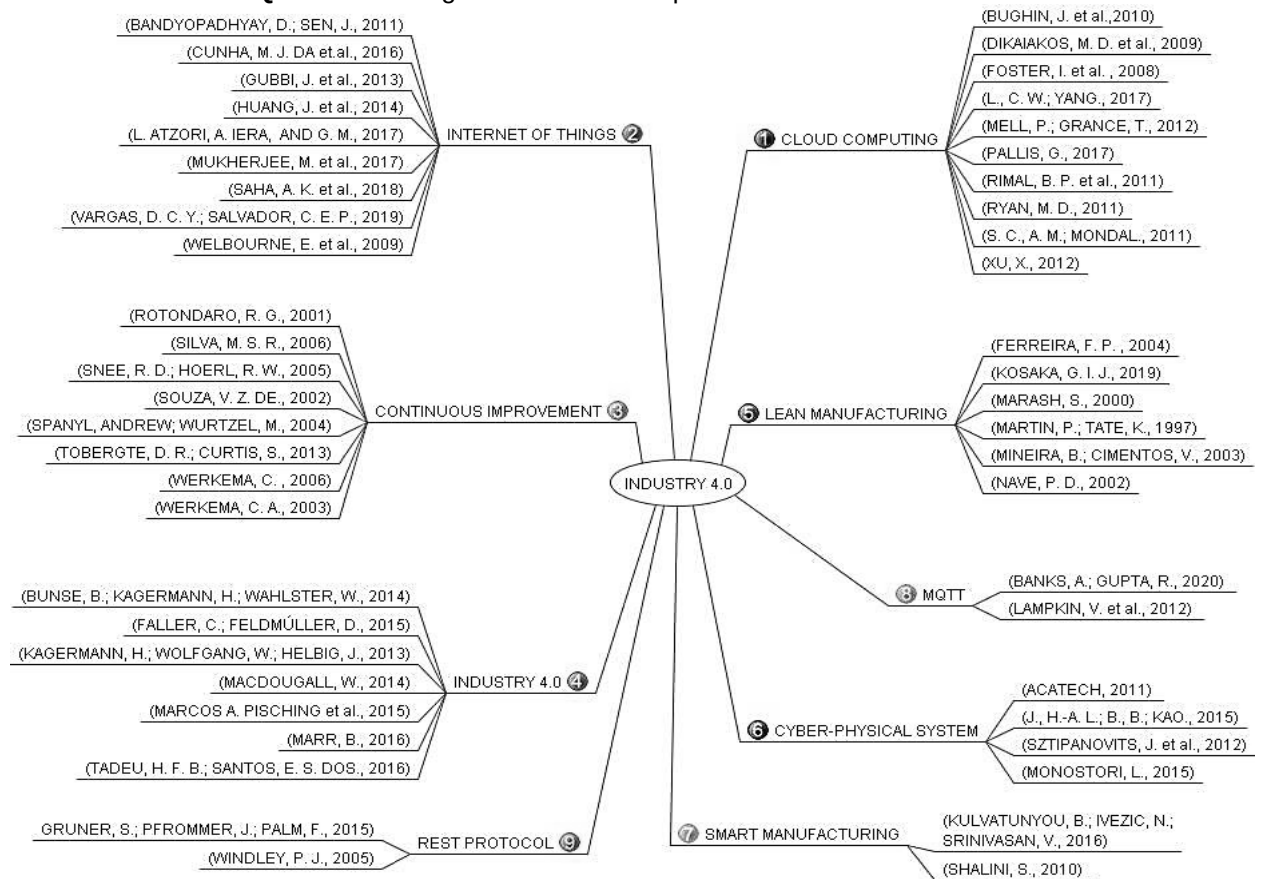
Quadro 6 – Gráfico de barras das publicações anuais de artigos.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Também foi elaborado um diagrama de rede das palavras chaves que possuíam mais de um autor relacionado, versus os respectivos autores, para avaliar suas contribuições em cada tema pesquisado, Quadro 7.

Quadro 7 – Diagrama de rede das palavras chave x autores.

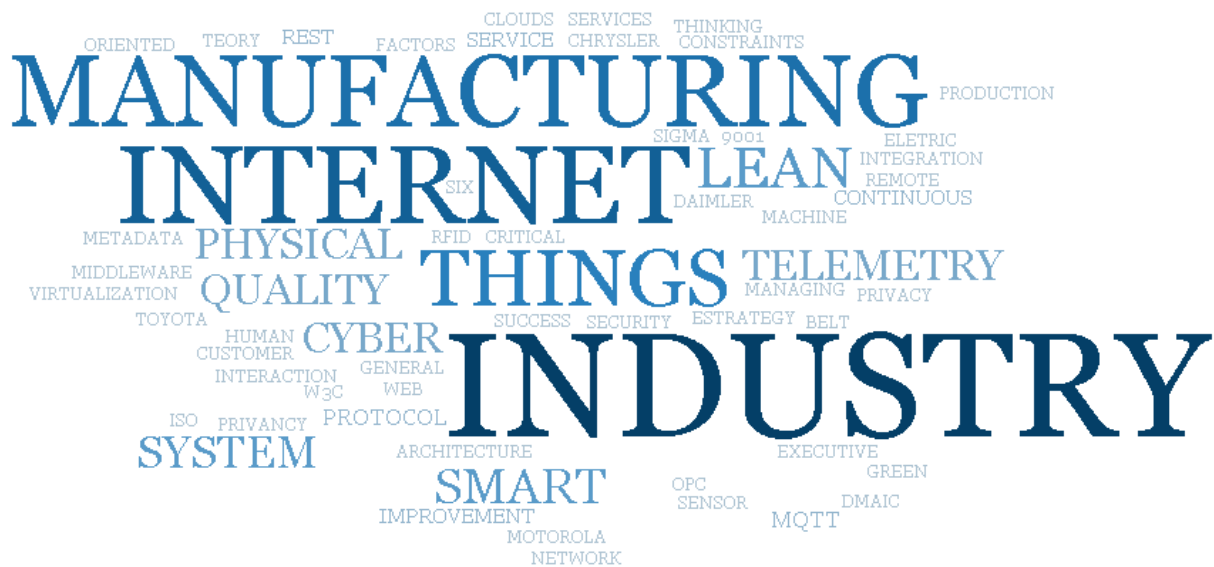


Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

2.3 PALAVRAS CHAVE

De forma a quantificar os temas mais discutidos nos artigos selecionados na revisão sistemática, realizou-se uma análise de conteúdo conforme o modelo proposto por (BARDIN, 1997), na qual foram formadas categorias de palavras-chave associados por temas e quantificados por meio da frequência de ocorrências Quadro 8. Do total de 107 palavras-chave, 95 delas não foram associadas a grupos por possuírem apenas uma ocorrência.

Quadro 8 – Nuvem de palavras chaves mais citadas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

1. *Industry 4.0* ou Manufatura Avançada: é o nome dado para a chegada da quarta revolução industrial, a nova era da indústria que está centrada no uso intensivo de recursos avançados de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) com a finalidade de garantir maior flexibilidade a sistemas e processos de produção, como uma consequência da crescente complexidade de produtos e cadeias de suprimento (FALLER; FELDMÜLLER, 2015). O termo surgiu para nomear a estratégia do governo da Alemanha para o estímulo ao desenvolvimento de uma manufatura de última geração dentro de um conjunto de ações que também vem sendo adotadas em outros países do mundo.
2. *Cloud Computing* ou Computação em Nuvem: É definida pelo *National Institute of Standards and Technology* (MELL; GRANCE, 2012) da seguinte forma: é um modelo que permite acesso onipresente, conveniente e sob demanda a rede para compartilhar um conjunto de recursos computacionais configuráveis (ex., redes, servidores, armazenamento, aplicações e serviços) que possam ser rapidamente providos e lançados com mínimo esforço gerencial e interação com o provedor do serviço.
3. *Internet of Things* ou Internet das coisas (*IoT*): Segundo (MUKHERJEE *et al.*, 2017), é uma rede inteligente que conecta todas as coisas à Internet com a

finalidade de trocar informações e localizar dispositivos através protocolos pré-estabelecidos. A *IoT* atinge o objetivo de promover uma localização inteligente, identificação, rastreamento, monitoramento e gestão de coisas. É a extensão e expansão do conceito de redes baseadas na *Internet*, a qual expande o paradigma da comunicação de pessoas para pessoas, para pessoas e coisas ou entre coisas e coisas.

4. *Continuous Improvement* ou Melhoria Contínua: A norma (ISO 9001, 2008) traz na seção Melhoria Contínua a necessidade da organização em melhorar continuamente os seus processos e que esta sistemática se torne um processo permanente, devendo a empresa integrar o Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) nos seus processos de negócios.
5. *Lean Manufacturing* ou Manufatura Enxuta: Basicamente é o significado de ser enxuto remete a obter as coisas certas, no lugar certo, na hora certa, na quantidade certa, minimizando o desperdício, sendo flexível e aberto a mudanças. Assim, um processo deve fazer apenas o que o próximo processo necessita, no momento que ele necessitar (ROTHER, M.; SHOOK, 2003).
6. *Smart Manufacturing* ou Fábrica Inteligente: São fábricas projetadas conforme práticas de negócios sustentáveis e orientadas a serviço. Essas fábricas primam por adaptabilidade, flexibilidade, auto adaptabilidade e características de aprendizagem, tolerância a falhas e gestão de riscos (BUNSE; KAGERMANN; WAHLSTER, 2014). Altos níveis de automação são inerentes às fábricas inteligentes.
7. *Cyber-Physical System* ou Sistemas ciber físicos: São sistemas formados por entidades virtuais colaborativas intensamente conectadas ao mundo físico circundante e aos seus processos em andamento, consumindo e fornecendo acesso a dados e serviços de processamento de dados disponíveis na *Internet* (ACATECH, 2011; SZTIPANOVITS *et al.*, 2012).
8. *Cloud Manufacturing* ou Manufatura em Nuvem: Com o rápido desenvolvimento das tecnologias da informação e de rede, como a *Internet*, a virtualização e a computação em rede, a *Cloud Computing* (Computação na Nuvem) tornou-se uma nova tendência para as aplicações de *Internet* na Manufatura, (DIKAIKOS *et al.*, 2009; MELL; GRANCE, 2012; S. C.; MONDAL, 2011; SCHONWALDER *et al.*, 2009).

9. MQTT: É um protocolo de comunicação criado pela IBM na década de 90 e se concentra em sistemas de monitoramento e coleta de dados, está presente no vasto mercado da *Internet das Coisas*. O protocolo MQTT foi projetado para conectar dispositivos, redes, aplicativos, serviços e *middleware*. O protocolo foi projetado para usar a infraestrutura e integrar-se aos protocolos TCP e IP. Além disso, o MQTT foi projetado para aplicativos que usam baixíssima largura de banda de rede e possuem requisitos de *hardware* extremamente simples e leves.
10. REST *Protocol*: É um protocolo de comunicação que possui um conjunto de restrições que, quando aplicadas na concepção de um sistema, cria um estilo de arquitetura de *software* (MACHADO JUNIOR, 2014).
11. *Telemetry* ou Telemetria: São sistemas que tem o propósito de coletar dados em um lugar remoto ou inconveniente e enviar estes dados para um ponto onde estes dados possam ser processados. Tipicamente, sistemas de telemetria são usados em sistemas de comunicações, (HENRY, 2002).
12. *Big Data* ou grandes massas de dados: Segundo (KANG, H.S., LEE J.Y., CHOI S., 2016), é um conjunto de dados com ampla variação, estrutura complexa e grande volume, que não pode ser processado pelos métodos tradicionais. Devido ao volume de dados gerados por sensores e sistemas integrados na Manufatura Avançada, é esperado que ela gere um *Big Data*.

A partir das palavras-chave, as seções a seguir foram estruturadas para dar sentido lógico ao assunto, bem como, o devido aprofundamento nos assuntos de interesse para o trabalho. O Quadro 9 representa a associação das palavras-chave às seções e subseções.

Quadro 9 – Estrutura das seções a partir das palavras-chave.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Manufatura Avançada: é a constituição das fabricas inteligentes. Estas são capazes de gerenciar a complexidade dos processos, operam com menos interrupções e de modo mais eficiente. Em uma fábrica inteligente a interação entre seres humanos, máquinas e recursos é tão natural que, segundo Kagermann *et al.* (KAGERMANN; WOLFGANG; HELBIG, 2013), assemelha-se a uma rede social.

Tecnologias Habilitadoras: O termo Indústria 4.0 foi cunhado em 2011 pelo governo alemão e tem evoluído desde então. Máquinas conectadas, robôs colaborativos, inteligência artificial, internet das coisas, *cloud computing*, *Big Data* e impressão 3D são algumas das tecnologias habilitadoras que fazem parte desta nova revolução industrial.

Manufatura Enxuta: (do inglês *Lean Manufacturing*), também conhecida como Produção Enxuta, é um termo criado no final da década de 80 por pesquisadores ligados ao *Massachusetts Institute of Technology* – MIT através de um programa de pesquisas denominado IMVP – *International Motor Vehicle Program*, que tinha como objetivo o estudo das melhores técnicas de produção praticadas mundialmente e a definição de um sistema de produção eficiente, flexível, ágil e inovador.

Soluções disponíveis no mercado: estas foram pesquisadas para trazer um referencial ao trabalho.

2.4 MANUFATURA AVANÇADA

Nesta seção expõe-se os principais conceitos estudados e analisados acerca do paradigma da Manufatura Avançada para a realização da pesquisa necessária para o projeto e implementação da arquitetura do TMA.

2.4.1 Introdução a Manufatura Avançada

As revoluções industriais caracterizam-se por mudanças abruptas e radicais, motivadas pela incorporação de tecnologias, que tem reflexo no campo econômico, social e político, Figura 1. Até os dias atuais há o consenso da existência de três revoluções industriais.

A primeira ocorreu entre os anos de 1760 e 1840, impulsionada por tecnologias como máquinas a vapor e hidráulicas, e tem como símbolo dessa fase o advento do primeiro tear mecanizado.

A segunda revolução deu-se entre o final do século XIX e início do século XX, sendo representada pela introdução da eletricidade, da linha de montagem e do surgimento da produção em massa baseada na divisão do trabalho.

O terceiro estágio da industrialização começou na década de 1960, e é marcado pelo desenvolvimento dos semicondutores, e tecnologias como *Mainframes* e computadores pessoais. Foi a era do surgimento e difusão da eletrônica e das tecnologias da informação e comunicação (TICs), que mais tarde, nos anos 1990, viu o aparecimento da Internet (TADEU; SANTOS, 2016).

Figura 1 – Cronologia das revoluções industriais.



Fonte: Google Images 2020.

Com a evolução de algumas das tecnologias da terceira revolução industrial, juntamente com o advento e a incorporação de outras tecnologias, estudiosos sugerem que a partir do começo do século XXI, ter-se-ia iniciado uma quarta revolução industrial, que na Alemanha recebeu o nome de "Manufatura Avançada".

Esse novo paradigma da indústria tem como principal propósito a consolidação das fábricas inteligentes onde se destacam a disseminação dos Sistemas ciber físicos (CPSs), evolução dos sistemas embarcados, permitindo a implementação da Internet das Coisas (*IoT*) e de Serviços (*IoS*), fazendo de cada insumo, recurso ou produto um objeto conectado e mapeável em rede.

Os Sistemas ciber físicos correspondem à evolução dos sistemas embarcados na forma de dispositivos distribuídos e conectados a redes sem fio com capacidade de comunicação entre si e com a *Internet*. Isso resulta na convergência entre o mundo físico e virtual (ciberespaço). Acompanhando esse movimento está o aprimoramento dos protocolos de rede como o IPv6, que provê endereços de rede suficientes para permitir conectividade com objetos inteligentes via *Internet*. Esse fato cria as condições para a criação da *Internet* das coisas e serviços, em que recursos, informações, objetos e pessoas estarão conectados para propósitos específicos. Essa evolução tecnológica afeta a indústria, e no âmbito da manufatura é descrita como o quarto estágio da industrialização, ou Manufatura Avançada. (KAGERMANN; WOLFGANG; HELBIG, 2013).

Nessas instalações, sistemas ciber físicos monitoram processos físicos da fábrica e tomam decisões descentralizadas. Os sistemas físicos são convertidos em objetos da *Internet* das coisas, comunicado-se e colaborando uns com os outros e com seres humanos em tempo real através de uma rede sem fio conectada à *web* (MARR, 2016).

Segundo Marr (MARR, 2016) para uma fábrica ou sistema ser considerado parte da Manufatura Avançada, deve possuir as características de:

1. Interoperabilidade entre dispositivos, máquinas, sensores e pessoas;
2. Transparência na informação, em que os sistemas contextualizam a informação criando uma copia do mundo físico no mundo virtual através de sensores de dados;
3. Auxílio técnico, pois os sistemas podem auxiliar humanos na tomada decisões e na resolução de problemas, bem como auxiliar quando a tarefa é complexa e insegura para humanos.

2.4.2 Sistemas ciber físicos (CPS)

Conforme o *Report of the Steering Committee for Foundations and Innovation for Cyber-Physical* (SZTIPANOVITS *et al.*, 2012), os CPSs tem um grande potencial para modificar vários aspectos da vida, permitindo o desenvolvimento de conceitos como carros autônomos, cirurgia robótica, edifícios inteligentes, rede elétrica inteligente, manufatura inteligente e dispositivos médicos implantados.

Especificamente no âmbito da manufatura, *Cyber-physical Systems* (CPS) correspondem à fusão dos sistemas físicos e virtual em uma rede integrada que reúne recursos físicos e processos (GORECKY *et al.*, 2014; MACDOUGALL, 2014).

Nessas redes circulam múltiplas informações de diferentes fontes que são monitoradas e sincronizadas entre o chão-de-fábrica e o ciberespaço (J.; B.; KAO, 2015). Kagermann *et al.* (KAGERMANN; WOLFGANG; HELBIG, 2013) classificam como CPSs, máquinas inteligentes e instalações de produção capazes de trocar informação de modo autônomo, realizar acionamentos e controlar uns aos outros de forma independente.

Segundo MacDougall (MACDOUGALL, 2014), os sistemas ciber físicos criam as condições para a *Internet* das Coisas (*IoT*) que combinada com a Internet de Serviços (*IoS*) viabilizam a Manufatura Avançada.

A interação entre sistemas embarcados baseados em software de alto desempenho e interfaces de usuário dedicado integrado por redes digitais criam um novo universo de funcionalidades para sistemas.

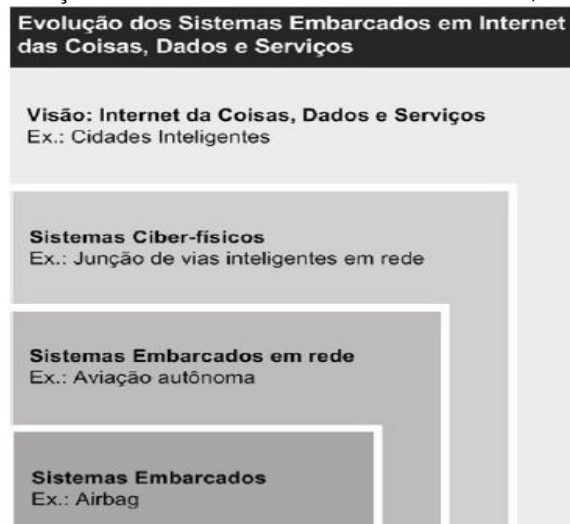
Com isso, os CPSs representam uma quebra de paradigma diante dos modelos de negócios existente ao permitir o desenvolvimento de novas aplicações, serviços e cadeia de valor.

Na Figura 2, sistemas embarcados fechados (ex. *aribag*) representam o ponto de partida. Foram realizados desenvolvimentos no campo dos sistemas embarcados conectados a redes locais.

Mais recentemente, estratégias foram elaboradas para expandir essas redes globalmente (ex. junção de rodovias inteligente em redes que utilizam informações sobre o tráfego).

Os CPSs representam a próximo estágio para a criação das cidades inteligentes através da criação de uma *Internet* das Coisas, Dados e Serviços.

Figura 2 – A evolução dos sistemas embarcados até a *IoT*, Dados e Serviços.



Fonte: Adaptado de (BUNSE; KAGERMANN; WAHLSTER, 2014).

Uma especialização do conceito de sistemas ciber físicos são os Sistemas de Produção ciber físicos (CPPS, sigla em inglês de *Cyber-physical production system*). Estes compreendem máquinas, sistemas de armazenagem, logística e instalações de produção inteligentes que foram mapeados digitalmente e permitem a integração com base nas TICs de ponta a ponta, desde a logística de entrada até a logística de saída e serviços, passando pela produção e pelo *marketing* (BUNSE; KAGERMANN; WAHLSTER, 2014; KAGERMANN; WOLFGANG; HELBIG, 2013; MONOSTORI, 2015).

Também tem a função de possibilitar a comunicação entre máquinas, humanos e produtos. Os elementos de um serão capazes de adquirir e processar dados, autocontrolar certas tarefas e interagir com humanos através de interfaces (MONOSTORI, 2015), conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3 – Interação humanos-máquinas em Sistemas de Produção ciber físicos.



Fonte: Adaptado de (KELLER et al., 2014).

Monostori (MONOSTORI, 2015) lista algumas expectativas em relação aos CPSs e CPPSs:

- Robustez em todos os níveis;
- Auto organização, automanutenção;
- Auto reparo;
- Segurança;
- Diagnóstico remoto;
- Controle em tempo real
- Navegação autônoma;
- Transparência;
- Previsibilidade;
- Eficiência;
- Modelo correcional, etc.

O mesmo autor, em extensa revisão bibliográfica, chama de "raízes" dos CPPSs na manufatura, trabalhos pioneiros realizados em área associadas ao tema, e faz considerações acerca dos desafios em termos de Pesquisa e Desenvolvimento no âmbito dos CPPSs. Dentre os estudos pré-revolução industrial 4.0, destacam-se:

- Sistemas de manufatura inteligente (IMS, sigla em inglês) em que através de informações incompletas ou imprecisas problemas imprevistos possam ser solucionados. Nesse campo também foram abordados temas como métodos de inteligência artificial e aprendizagem de máquina.
- Sistemas de Manufatura Biológicos (BMS, sigla em inglês) os quais trabalham com conceitos biologicamente inspirados como auto crescimento, auto-organização, adaptação e evolução.
- Sistemas de Manufatura Reconfiguráveis (RMS, sigla em inglês), em que máquinas e controladores são reconfiguráveis.
- Fábricas Digitais (Digital Factories), em que destaca-se o mapeamento da maioria dos processos técnicos e de negócios no mundo digital.
- Sistemas de Manufatura Holônicos (HMS, sigla em inglês), em que as entidades apresentam como principais características a autonomia e a cooperação.
- Metodologias de síntese emergente.

- Estruturas de produção modificáveis.
- Empresas de manufatura responsivas e cooperativas.
- Coevolução de produtos, processos e sistemas de produção.
- Tratamento de complexidade em manufatura e engenharia.

Há um grande número de importantes desenvolvimentos no campo dos CPSs e CPPSs como em controle cooperativo, sistemas multi-agentes, sistemas de complexos adaptativos, sistemas emergentes, redes de sensores, data mining, etc; no entanto, muito pode ser realizado, Mosnostoni (MONOSTORI, 2015) relaciona alguns desafios em termos de P&D:

- Sistemas autônomos (ao menos parcialmente) e adaptativos baseados em contexto.
- Sistemas de produção cooperativos.
- Sistemas dinâmicos de previsão e identificação.
- Programação robusta.
- Fusão de sistemas reais e virtuais.
- Simbiose homem-máquina (incluindo robô-humano).

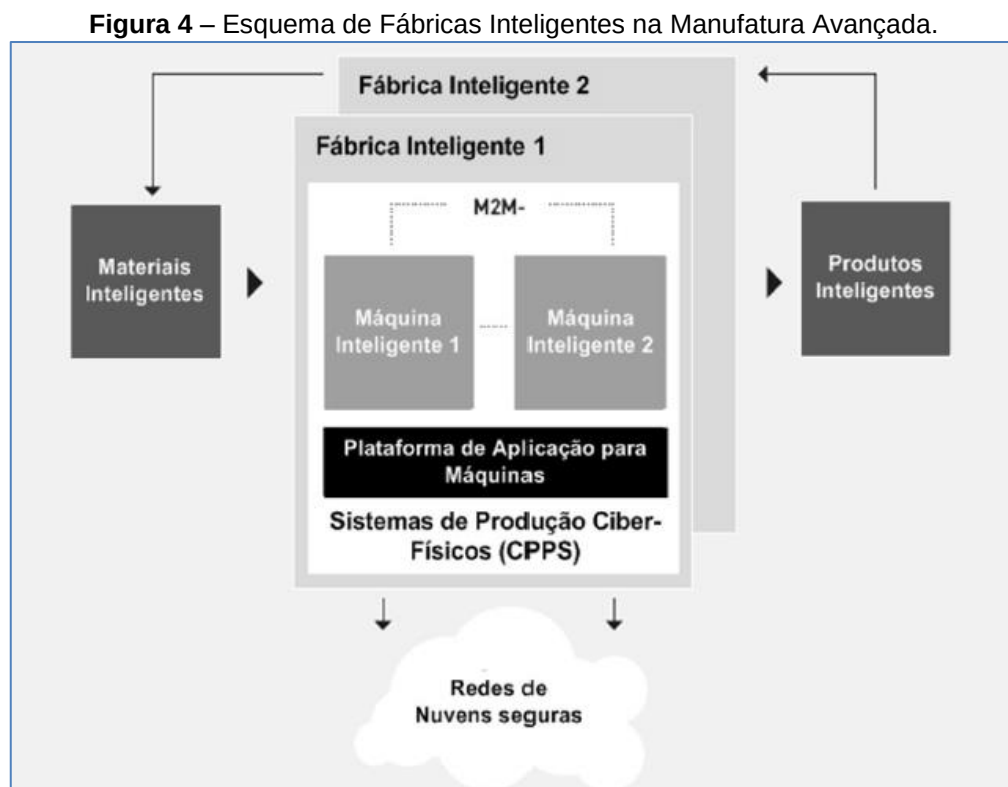
2.4.3 Fábricas Inteligentes (*Smart Factories*)

O principal objetivo da Manufatura Avançada é consolidar as "Fábricas Inteligentes" para permitir a criação de produtos e serviços personalizados sob demanda que atendam às necessidades de cada consumidor (MARCOS A. PISCHING *et al.*, 2015). A fusão dos mundos físicos e virtual através dos sistemas ciber físicos e a fusão resultante de processos de negócios e processos técnicos estão abrindo caminho para uma nova era industrial sintetizada pelo conceito de "Fábrica Inteligente" (*Smart Factory*) no âmbito da estratégia Manufatura Avançada.

A implementação de sistemas de ciber físicos em sistemas de produção faz emergir as "fábricas inteligentes". Processos, recursos e produtos de fábricas inteligentes são caracterizados por sistemas de ciber físicos, fornecendo maior eficiência e vantagens em termos de custos, em comparação com sistemas de produção clássicos. As Fábricas de inteligentes são projetadas conforme práticas de negócios sustentáveis e orientadas a serviço. Essas fábricas primam por adaptabilidade, flexibilidade, auto adaptabilidade e características de aprendizagem,

tolerância a falhas e gestão de riscos (BUNSE; KAGERMANN; WAHLSTER, 2014). Altos níveis de automação são inerentes às fábricas inteligentes.

Isso é possível graças a uma rede flexível de sistemas de produção baseados em sistemas ciber físicos que, em grande medida, supervisionam automaticamente os processos de produção. Sistemas de produção flexíveis, que são capazes de responder em quase tempo real, permitem que os processos de produção internos sejam radicalmente otimizados. As vantagens de produção não estão limitadas exclusivamente às condições de produção pontuais, mas também podem ser otimizadas de acordo com uma rede global de unidades de produção adaptáveis e autoorganizáveis pertencentes a mais de um operador, conforme indicado na Figura 4, (BUNSE; KAGERMANN; WAHLSTER, 2014).



Fonte: Adaptado de (BUNSE; KAGERMANN; WAHLSTER, 2014).

Isso representa uma revolução na produção em termos de inovação, custo, economia, tempo e a criação de um modelo *bottom-up* (de baixo para cima) de geração de valor na produção, cuja capacidade de rede cria novas e mais oportunidades de mercado. A produção na fábrica inteligente traz consigo inúmeras vantagens sobre a produção e manufatura convencionais (BUNSE; KAGERMANN; WAHLSTER, 2014). Essas incluem:

- Processos de produção CPS otimizado: "unidades" de fábrica inteligente são capazes de determinar e identificar seu(s) campo(s) de atividade, as opções de configuração e as condições de produção, bem como se comunicar de forma independente e sem fio com outras unidades;
- Manufatura otimizada de produtos customizados para o cliente através da compilação inteligente para o sistema de produção ideal que considera fatores do produto, custos, logística, segurança, confiabilidade, tempo e considerações de sustentabilidade;
- Produção eficiente de recurso;
- Ajustes na força de trabalho para que a máquina se adapte ao ciclo de trabalho humano.

No ANEXO B são apresentadas as características da manufatura avançada encontradas na literatura, bem como, os autores que descrevem o seu uso. O ajuste destas características de manufatura avançada no setor de alimentos foi conduzido ao longo do estudo de caso.

2.5 TECNOLOGIAS HABILITADORAS

Nesta seção expõe-se as principais tecnologias estudadas e analisadas acerca do paradigma da Manufatura Avançada para a realização da pesquisa necessária para o projeto e implementação da arquitetura do *template*.

2.5.1 Cloud Computing no Contexto da Manufatura

A computação na nuvem está avançando rumo à integração das estruturas de organizações. A indústria de transformação já começa a colher os benefícios da adoção da Nuvem, em um movimento para a adaptação para uma fabricação mais "inteligente". O custo benefício de adoção de nuvens em uma empresa de manufatura típica pode ser múltiplo. Para Shalini (SHALINI, 2010), as economias obtidas com a eliminação de funções que foram essenciais na manufatura tradicional podem ser significativas.

Com soluções baseadas na Nuvem, algumas customizações de aplicações e ajustes conforme as necessidades das empresas no nível de processo podem ser

tratadas pelo setor de TI da empresa, juntamente com algumas das tecnologias inteligentes de computação na nuvem. Quando uma forma diferente da execução de um processo é iniciada, a equipe de TI pode fazer a mudança acontecer perfeitamente e em menos tempo.

Computação na nuvem também pode ser usada para melhorar muitos outros aspectos de empresas de fabricação, movendo processos tradicionais para a nuvem a fim de melhorar a eficiência operacional. De acordo com Bughin *et al.* (BUGHIN *et al.*, 2010), colaboração em escala usando a tecnologia de Nuvem é uma tendência emergente de negócios.

Com a adoção de tecnologias na Nuvem, a colaboração empresarial pode acontecer em uma escala muito mais ampla. Dentro da organização, planejamento da demanda e organização da cadeia de suprimentos podem ser integrados a um sistema baseado na Nuvem, permitindo que diferentes partes da organização sondar as oportunidades nas quais suas equipes de vendas estão trabalhando.

O movimento no sentido de expandir a utilização da Computação na Nuvem dentro as empresas de manufatura leva o nome de Manufatura na Nuvem (*Cloud Manufacturing*). Esse paradigma é parte do esforço de transição para fabricação orientada a produção para a fabricação orientada a serviços.

Como a Computação na Nuvem, a Fabricação na Nuvem é considerada como um novo domínio multidisciplinar que engloba tecnologias como Fabricação em rede, Rede de Fabricação (MGrid), Fabricação Virtual, Manufatura ágil, Internet das Coisas e, claro, Computação na Nuvem. A Manufatura na Nuvem reflete tanto o conceito de "integração de recursos distribuídos" quanto o conceito de "distribuição de recursos integrados", (XU, 2012).

Na Manufatura em Nuvem, os recursos distribuídos são encapsulados em Serviços na Nuvem e gerenciados de forma centralizada. Os clientes podem usar os Serviços na Nuvem, de acordo com suas necessidades. Usuários da Nuvem podem solicitar serviços que vão desde o projeto de produto, fabricação, testes, gestão e todas as outras fases de um ciclo de vida do produto.

Uma plataforma de serviços na Nuvem de fabricação realiza pesquisas, mapeamento inteligente, recomendações e execução a de um serviço, (XU, 2012).

Segundo Bughin *et al.* (BUGHIN *et al.*, 2010), colaboração, *IoT* e a nuvem são identificadas como tendências tecnológicas de negócios-chave que irão remodelar as empresas mundialmente. O principal tarefa da computação na nuvem é a

prestação de serviços de computação sob demanda com alta confiabilidade, escalabilidade e disponibilidade em um ambiente distribuído.

A computação na nuvem está surgindo como um dos principais facilitadores na indústria de manufatura, podendo transformar modelos de negócio tradicionais na manufatura, promovendo o alinhamento da inovação de produto com a estratégia de negócio, e a criação de redes de fábricas inteligentes focadas em colaboração efetiva.

Há duas formas sugeridas para adoção da computação na nuvem, a versão da manufatura com adoção direta das tecnologias da computação na nuvem, e a Manufatura na nuvem (*Cloud Manufacturing*). A computação em nuvem atua em algumas das principais áreas de fabricação, tais como TI, modelos de negócios *pay-as-you-go* (pague pelo que usa), aumento de produção sob demanda e flexibilidade na implantação e personalização de soluções.

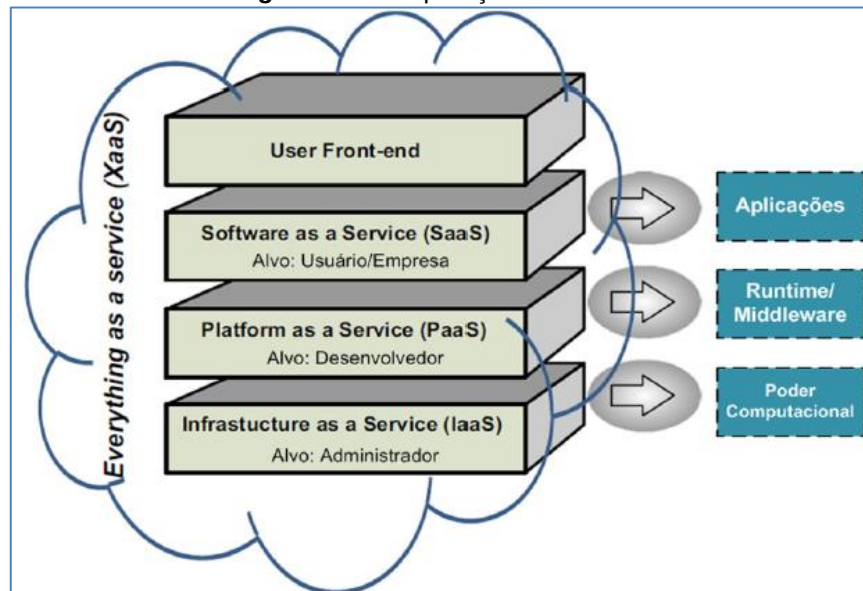
Na manufatura na nuvem os recursos distribuídos são encapsulados em serviços na nuvem e gerenciados de forma centralizada. Os clientes podem usar serviços na nuvem de acordo com suas necessidades. Os usuários da nuvem podem solicitar serviços que vão desde o projeto de produto, fabricação, testes, até a distribuição e operações de logística reversa, envolvendo todas as etapas do ciclo de vida de um produto, (XU, 2012).

Um grande princípio da computação na nuvem é tudo ser tratado como um serviço (*Everything as a service* - XaaS), a exemplo de SaaS (*Software as a Service* - *Software* como serviço), PaaS (*Platform as a Service* - plataforma como serviço) e IaaS (*Infrastructure as a Service* - infraestrutura como serviço). Esses serviços definem a estrutura de sistema em camadas para Computação na Nuvem, Figura 5.

Na camada de infraestrutura, processamento, armazenamento, redes e outros recursos fundamentais de computação são definidos como serviços padronizados na rede. Os clientes dos provedores de nuvem podem implantar e executar sistemas operacionais e *software* para as infraestruturas relacionadas.

A camada média, ou seja, PaaS fornece abstrações e serviços para desenvolvimento, teste, implementação, hospedagem e manutenção de aplicações em ambiente de desenvolvimento integrado. A camada de aplicação fornece um conjunto completo de aplicações de SaaS. A camada de interface de usuário na parte superior permite a interação perfeita com todas as camadas subjacentes de XaaS (PALLIS, 2010).

Figura 5 – Computação na nuvem.



Fonte: Adaptado de (XU, 2012).

A computação na nuvem é considerada como um campo de pesquisa multidisciplinar como resultado da evolução e convergência de várias tendências de computação. Mais precisamente a evolução orientada a negócio da computação em rede (FOSTER *et al.*, 2008).

Implementar a computação em nuvem significa uma mudança de paradigma de negócios e infraestrutura de TI, onde o poder de computação, armazenamento de dados e serviços são terceirizados para terceiros e disponibilizados como commodities para empresas e clientes (XU, 2012).

Alguns requisitos arquiteturais gerais para o desenvolvimento da Computação da Nuvem são apresentados por Rimal *et al.* (RIMAL *et al.*, 2011). Os mesmos autores classificaram esses requisitos para fornecedores, empresas e usuários.

2.5.1.1 Requisitos dos Fornecedores

No ponto de vista dos fornecedores, é necessária uma arquitetura de serviço altamente eficiente para apoiar a infraestrutura e os serviços, a fim de fornecer serviços virtualizados e dinâmicos. *Software* como serviço (SaaS), *Plataforma* como serviço (PaaS) e *Infraestrutura* como serviço (IaaS) são três tipos comuns de modelos de prestação de serviços. Esses serviços geralmente são fornecidos por meio de *interfaces* padrão da indústria, como *Web Services*, arquitetura orientada a

serviços (SOA) (CATER, 2010) ou serviços REST (*REpresentational State Transfer*) (WINDLEY, 2005):

1. *Software* como Serviço (SaaS), algumas vezes denominado Aplicação com serviço Serviço (AaaS), oferece uma plataforma de inquilinos múltiplos (*multi-tenant*), em que recursos comuns e uma única instância do código objeto de uma aplicação e o banco de dados subjacente são usados para suportar vários clientes simultaneamente. Para este fim, o SaaS também é referido como o modelo de Fornecedor de Serviço de Aplicação (*Application Service Provider-ASP*). Exemplos de provedores chaves são o sistema de Gerenciamento de Relacionamento com o Cliente (CRM) da força de vendas, o *NetSuite* e o aplicação de produtividade do *Google Office*. Uma consideração importante em SaaS é a integração efetiva com outras aplicações (XU, 2012).
2. Plataforma como Serviço (PaaS) fornece aos desenvolvedores uma plataforma que inclui todos os sistemas e ambientes que compõem o ciclo de desenvolvimento, teste, implementação e hospedagem de sofisticadas aplicações *web* como um serviço fornecido por uma plataforma baseada na nuvem. PaaS comumente encontrados inclui *Facebook F8*, *Salesforce App Exchange*, *Google App Engine*, *Bunzee* conectar e *Amazon EC2*. PaaS pode oferecer uma série de serviços prontamente disponíveis, o que significa que PaaS pode suportar várias aplicações na mesma plataforma. (XU, 2012)
3. Infraestrutura como um Serviço (IaaS) é às vezes chamada de *Hardware* como um Serviço (HaaS). O IaaS promove um esquema de pagamento baseado em uso, o que significa que os clientes pagam conforme usam. Este serviço é extremamente útil para usuários corporativos, pois elimina a necessidade de investir na construção e no gerenciamento de seus próprios sistemas de TI. Outra vantagem importante é a habilidade de ter acesso ou usar a tecnologia mais recente à medida que ela surge. Sob demanda, autossustentável ou auto ajuste, inquilinos múltiplos, categorização de clientes são os principais requisitos de IaaS (RIMAL et al., 2011). *GoGrid*, *Mosso/Rackspace*, *MSP On-Demand* e *masterIT* são alguns dos provedores pioneiros IaaS.

Outros requisitos essenciais são arquitetura ser centrada em serviço, ter qualidade de serviço (QoS) entre fornecedor e usuário final, interoperabilidade associada a um formato padrão de dados e integração entre aplicações, tolerância a falhas, balanceamento de carga de trabalho entre as entidades da nuvem (ex. servidores, dispositivos de armazenamento, redes e recursos de TI) e gerenciamento da virtualização de recursos.

2.5.1.2 Requisitos das Empresas

Segundo Xu (XU, 2012), há quatro modelos de implementação da nuvem: público privado, comunitário e híbrido. Diferentes tipos de modelos de implementação adequam-se a diferentes situações.

Nuvem pública provê o conceito chave de compartilhar os serviços e a infraestrutura fornecida por um fornecedor à parte em um ambiente de inquilinos múltiplos (*multi-tenant*) (L.; YANG, 2010). Nuvem privada envolve o compartilhamento de serviços e infraestrutura fornecida por uma organização ou seu fornecedor de serviço especificado em um ambiente de inquilino único (*single-tenant*).

Aplicações de atividades centrais e de missão crítica das empresas são frequentemente mantidas em uma nuvem privada. Nuvem comunitária é compartilhada por várias organizações e é apoiada por uma comunidade que compartilha interesses e preocupações (MELL; GRANCE, 2012).

Nuvem híbrida consiste de múltiplas nuvens internas (privadas) e externas (públicas). A complexidade acrescida de determinar como distribuir aplicações entre nuvens públicas e privadas poder ser um desafio. Para Xu (XU, 2012), as empresas precisam alavancar estrategicamente os quatro modelos de implementação na nuvem.

Os diferentes modelos de serviços discutidos anteriormente (SaaS, PaaS e IaaS) ocupam diferentes níveis de requisitos de segurança no ambiente da nuvem. A IaaS é a fundação de todos os serviços na nuvem, com a PaaS construída sobre ela e a SaaS, por sua vez, construída sobre a PaaS. Assim como as capacidades são herdadas, assim são as questões de segurança da informação e os riscos.

2.5.1.3 Requisitos dos Usuários

Os requisitos dos usuários são o terceiro fator chave para uma adoção voluntária e bem-sucedida de qualquer sistema em nuvem em uma empresa. Para os usuários, a confiança é muitas vezes uma grande preocupação. Nuvem baseada em confiança é, portanto, um recurso essencial e mandatório (RYAN, 2011).

Quando se fala em usuários finais individuais e faturamento e medição baseadas em consumo em um sistema na nuvem, uma analogia pode ser feita com a medição de consumo e alocação de água, gás ou eletricidade em uma base de unidades de consumo. O gerenciamento de custos é importante para tomar decisões de planejamento e controle. Análise da repartição de custos, rastreamento de atividade utilizada, gestão de custos adaptáveis, transparência do consumo e faturamento são também considerações importantes.

No que se refere à privacidade na computação na nuvem, alguns dados de usuários (considerado como sua propriedade intelectual) são armazenados em centrais de megadados localizados no ciberespaço. Em cada ambiente a privacidade torna-se a principal questão (CAVOUKIAN, 2008; RYAN, 2011). Há uma grande resistência e relutância de uma empresa armazenar qualquer dado vital na nuvem. Mas, há várias tecnologias que podem melhorar a integridade, a confidencialidade e a segurança de dados nas nuvens, por exemplo, LANs virtuais, caixas intermediárias de rede (*Firewalls* e filtros de pacotes) (XU, 2012).

2.5.2 Internet das Coisas (*IoT*)

No paradigma da Internet das Coisas (*IoT*), muitos dos objetos que são parte dos ambientes da vida moderna são conectados em rede de alguma forma. Tecnologias de Identificação por Radio Frequência (*RFID*) e sensores em rede se proliferarão a fim viabilizar esse novo paradigma, em que Sistemas de Informação e Comunicação estarão imperceptivelmente incorporados ao ambiente ao redor. Isso resulta na geração de enormes quantidades de dados que precisam ser armazenados, processados e apresentados de forma contínua, eficiente e facilmente interpretável (GUBBI *et al.*, 2013).

2.5.2.1 Definição de *IoT*

Não há uma definição final e absoluta para *IoT*, uma vez que os especialistas na área possuem diferentes perspectivas sobre o assunto. Entretanto, seguindo a evolução tecnológica, é possível identificar algumas características que a *IoT* deve ter (MUKHERJEE *et al.*, 2017):

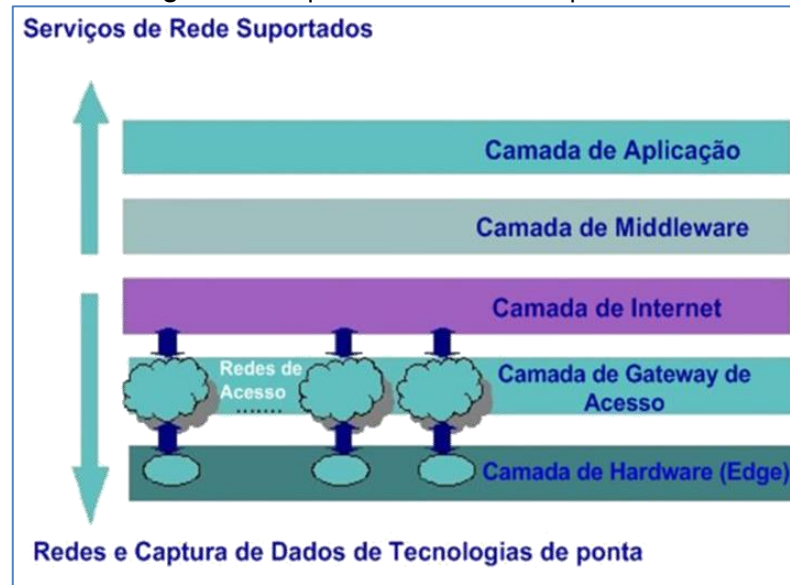
- Percepção Abrangente - usando recursos como *RFID*, sensores e códigos de barra para obter informações em qualquer lugar e a qualquer momento. Nessa perspectiva, os sistemas de comunicação e a informação serão embarcados de forma imperceptível e naturalmente no ambiente. As redes de sensores permitirão que as pessoas interajam remotamente com o mundo real. As tecnologias de identificação citadas identificarão tanto objetos quanto lugares.
- Transmissão Confiável - Um conjunto de tecnologias de redes de rádio, redes de telecomunicação e a Internet permitirão a transmissão e a disponibilidade de informações entre objetos de rede a qualquer momento. *IoT* cria a interação entre o mundo físico, o mundo virtual, o mundo digital e a sociedade.
- Processamento Inteligente - darão suporte às aplicações para *IoT* através da coleta de dados para bancos de dados, de várias tecnologias de computação inteligente, incluindo a computação na nuvem. Provedores de serviços de rede podem processar um grande volume de mensagens instantaneamente através da computação na nuvem. Assim, essa tecnologia será a promotora da *IoT*.

Uma arquitetura ou um modelo de referência para o desenvolvimento da *IoT* consiste em varias camadas, que compreendem a camada de aquisição de dados de campo, mais próxima do equipamento, até a camada de aplicação de mais alto nível em temas de interface de dados. Segundo Bandyopadhyay e Sen (BANDYOPADHYAY; SEN, 2011), uma arquitetura em camadas tem que ser projetada de forma que possa atender as necessidades de varios tipos de organização, instituições e sociedades.

Com esse propósito Atzori e Morabito (L. ATZORI, A. IERA, 2010) apresentaram uma arquitetura genérica para *IoT*, ilustrada pela Figura 6.

A arquitetura em camadas é dividida em duas, um bloco de camadas inferior, representado por aquelas com a função de capturar dados, e um bloco superior responsável pela utilização dos dados em aplicações.

Figura 6 – Arquitetura em camadas para IoT.



Fonte: Adaptado de (L. ATZORI, A. IERA, 2010).

Cada camada é brevemente descrita a seguir:

- **Camada de Borda (*Edge Layer*):** é a camada de hardware que consiste em sensores de rede, sistemas embarcados, *Tags* de *RFID* (*Radio-Frequency Identification*) e leitores ou sensores de precisão de diferentes tipos. Muitos desses elementos de *hardware* fornecem identificação e armazenamento de informação (ex. *Tags RFID*), coleta de informação (ex. redes de sensores), processamento de informação (ex. processadores de borda embarcados), comunicação, controle e atuação.
- **Camada de Gateway de Acesso (*Access gateway layer*):** corresponde ao primeiro estágio da manipulação de dados. Essa camada trata do roteamento de mensagens, publicação e subscrição, e realiza a comunicação entre plataformas, se necessário.
- **Camada Middleware (*Middleware layer*):** Essa é umas das camadas mais críticas e opera de modo bidirecional. Atua como uma interface entre a camada hardware e a camada de aplicação. É responsável por funções críticas como gerenciamento de dispositivos e informação e, trata de questões como filtragem de dados, agregação de dados, análise

semântica, controle de acesso, descoberta de informações como o serviço de informação EPC (*Electronic Product Code*) e ONS (*Object Naming Service*).

- Camada de Aplicação (*Application Layer*): Esta camada corresponde ao topo da pilha e tem a função de fornecimento de várias aplicações para diferentes usuários em *IoT*. Essas aplicações podem prover de diferentes indústrias verticais como: manufatura, logística, saúde, segurança pública, alimentação, etc.

2.5.2.2 Elementos da *IoT*

Gubbi *et al.* (GUBBI *et al.*, 2013) classificam as tecnologias que permitirão o desenvolvimento da *IoT* em três categorias: (a) *Hardware* - sensores, atuadores e *hardware* de comunicação embarcada; (b) *Middleware* - ferramentas de computação e armazenamento sob demanda para análise de dados e (c) Apresentação - novas ferramentas de visualização e interpretação fáceis de entender que podem ser amplamente acessadas em diferentes plataformas e que podem ser projetadas para diferentes aplicações. Algumas tecnologias que enquadram-se nessas categorias são:

- Identificação por Radio Frequência (RFID): o princípio dessa tecnologia são *microchips* projetados para permitir a comunicação de dados sem fio. Esses componentes ajudam na identificação de tudo a que eles estejam fixados, atuando como um código de barras eletrônico, (WELBOURNE *et al.*, 2009). Esse recurso já resultou em muitas aplicações, em particular no setor de varejo e na gestão da cadeia de suprimentos. Outras aplicações podem ser encontradas em área de transporte (substituição de bilhetes, adesivos de registro) e aplicações de controle de acesso. Etiquetas passivas estão sendo usadas também em muitos cartões bancários e em pedágios rodoviários, que estão entre as primeiras implementações globais. Os leitores de RFID ativos têm seu próprio suprimento de bateria e podem instanciar a comunicação. Das várias aplicações, a principal aplicação de etiquetas RFID ativas está em contêiner de porto (JUELS, 2006) para monitoramento de carga.

- Redes de sensores sem fio (WSN): é centrada na implementação de dispositivos miniatura de baixa potência e de baixo custo para utilização em aplicações de detecção remota. Avanços tecnológicos no campo dos circuitos integrados de baixa potência e da comunicação sem fio tem permitido a viabilidade na utilização de uma rede de sensores constituída por um grande número de sensores inteligentes, permitindo a coleta, o processamento, análise e a distribuição de informações valiosas, capturadas em vários ambientes, (POTDAR; SHARIF; CHANG, 2009). Os dados dos sensores são compartilhados entre nós de sensores e enviados para um sistema distribuído ou centralizado para análise.
- Esquemas de Endereçamento - A capacidade de identificar exclusivamente "coisas" é fundamental para o sucesso do *IoT*. Isso não só nos permitirá identificar de forma exclusiva bilhões de dispositivos, mas também para controlar dispositivos remotos através da *Internet*. Para tratar disso, o sistema URN (*Uniform Resource Name*) é considerado fundamental para o desenvolvimento de *IoT*. URN cria réplicas dos recursos que podem ser acessados através do URL. Com grande quantidade de dados espaciais sendo coletados, muitas vezes é muito importante aproveitar os benefícios dos metadados para transferir as informações de um banco de dados para o usuário através da Internet (HONLE, 2005). O IPv6 também dá uma ótima opção para acessar recursos de forma exclusiva e remota.
- Análise e Armazenamento de dados - uma das mais importantes funções desse campo emergente é tratar da grande quantidade de dados criada. O armazenamento, a propriedade e a expiração dos dados tornam-se questões críticas. Os dados têm de ser armazenados e utilizados de forma inteligente para um monitoramento e uma atuação inteligentes. É importante desenvolver algoritmos de inteligência artificial que poderiam ser centralizados ou distribuídos com base na necessidade. Esses sistemas apresentam características como a interoperabilidade, integração e comunicação adaptativas. Eles também têm uma arquitetura modular, tanto em termos de design do sistema de hardware, bem como pelo desenvolvimento de software e geralmente são bem adaptáveis a aplicações de *IoT*. Mais importante ainda, uma infraestrutura centralizada

para suportar o armazenamento e análise é necessária, (GUBBI et al., 2013).

- Tecnologias de Visualização - a visualização é crítica para uma aplicação *IoT*, pois isso permite a interação do usuário com o ambiente. Com os recentes avanços nas tecnologias de tela sensível ao toque, o uso de *tablets* e *smartphones* tornou-se muito intuitivo. Para que uma pessoa leiga se beneficie plenamente da *IoT*, é preciso criar uma visualização atraente e fácil de entender. A evolução tecnológica permite que mais informações sejam fornecidas de forma significativa para os consumidores finais. A conversão de dados em conhecimento é crítica para as tomadas de decisões rápidas. No entanto, a extração de informações significativas de dados brutos não é trivial. Isto engloba tanto a detecção de eventos como a visualização dos dados brutos e modelados associados, com a informação representada de acordo com as necessidades dos usuários finais, (GUBBI et al., 2013).

2.5.2.3 Aplicações *IoT*

Existem vários domínios de aplicação que serão impactados pela emergente Internet das coisas. Na literatura as aplicações atualmente em curso e as potenciais implementações no campo da *IoT* são categorizadas de diferentes formas. Chen et al. (MUKHERJEE et al., 2017), em relação a Gubbi et al. (GUBBI et al., 2013), e Bandyopadhyay (BANDYOPADHYAY; SEN, 2011), apresentam a classificação mais objetiva, porém mais abrangente das capacidades de aplicação da *IoT*. Dessa forma, o potencial de aplicação da *IoT* pode ser resumido como segue:

- Detecção de localização e compartilhamento de informações de localização: O sistema de *IoT* pode coletar informações de localização de terminais e nós de *IoT*, e então, fornecer serviços com base nas informações de localização coletadas. As informações de localização incluem informações de posição geográfica de GPS, *Cell-ID*, RFID, etc. e informações de posições relativas ou absolutas entre as coisas.
- Sensoriamento do ambiente (*Environment Sensing*): o sistema de *IoT* pode coletar e processar todos os tipos de parâmetros ambientais físicos ou químicos através dos terminais localmente ou ampla-mente implantados.

Informações ambientais típicas incluem temperatura, umidade, ruído, visibilidade, intensidade de luz, espectro, radiação, poluição (CO, CO₂, etc.), imagens e indicadores de corpo.

- Controle Remoto: Sistemas *IoT* podem controlar terminais *IoT* e executar funções com base nos comandos da aplicação combinados com informações coletadas de requisitos de serviço e coisas.
- Redes *Ad-Hoc*: sistema *IoT* terá capacidade de rede auto-organizada rapidamente e pode interoperar com a camada de rede/serviço para prover serviços relacionados (HUANG *et al.*, 2014).
- Comunicação segura: sistema *IoT* pode ainda estabelecer um canal de transmissão de dados seguro entre a aplicação ou plataforma de serviço e terminais *IoT* com base nos requisitos do serviço.

2.5.3 Integração Vertical

Para Xu (2012), a Manufatura Avançada está conectada através da Integração Vertical é descrita como: um conjunto de sistemas de produção em rede e permite que o CPS seja utilizado para criar sistemas de fabricação flexíveis e a reconfiguração fabril, além disto, com o auxílio CPS integra a produção, sistemas de armazenagem e logística, estabelecendo a integração com o banco de dados (*Big Data*);

2.5.3.1 Service-Oriented Architecture (SOA)

Alguns padrões, como MTConnect, STEP (*Standard for the Exchange of Product model data*) e outros, têm sido úteis para permitir integração e intercâmbio de dados entre diferentes sistemas de software de engenharia. Nesse sentido, a indústria de manufatura está em um esforço para converter as funcionalidades fornecidas por esses sistemas de software em serviços. Essa tendência ganhando força com a chegada da Computação em Nuvem, que permite a virtualização de recursos de computação e comunicação.

A Arquitetura Orientada a Serviços (SOA) tem como objetivo alcançar um ambiente distribuído e com baixo acoplamento, na forma uma loja de componentes de *software* baseada em Nuvem. No paradigma orientado a serviços, os

componentes de *software* são vistos como fornecedores de funcionalidades por meio de serviços independentes. Os serviços são virtualizações de componentes de *software*. Ou seja, os consumidores de serviços não precisam saber como os provedores de serviços oferecem seus serviços - de onde, por qual ou por quantos componentes de *software*, (KULVATUNYOU; IVEZIC; SRINIVASAN, 2016).

O paradigma orientado a serviços enfatiza a visibilidade e a semântica que possibilitam a correspondência entre necessidades e capacidades, e a composição de capacidades para atender a essas necessidades. A visibilidade e a semântica são possibilitadas por descrições e acordos de serviço que capturam informações essenciais dos consumidores, e que os provedores de serviços precisam estar cientes e concordar, (KULVATUNYOU; IVEZIC; SRINIVASAN, 2016).

O SOA é comumente implementado através *Web Services*, que se referem a um conjunto de padrões de várias organizações de desenvolvimento padrão; Esses padrões incluem *Web Service Description Language* (WSDL) e *Business Process Execution Language* (BPEL). No entanto, tais serviços também podem ser implementados usando outras estratégias. Recentemente, a implementação de SOA usando *Representational State Transfer* (REST), também conhecido como RESTful *Web Services*, ganhou aceitação generalizada. A implementação RESTful é considerada mais simples e mais fácil de usar do que a implementação baseada em WSDL.

Apesar do SOA fornecer o paradigma e tecnologia para permitir a composição dinâmica de serviços de informações de engenharia, não é em si uma solução para problemas de domínio específico, vários outros serviços de informação de engenharia podem ser compostos usando SOA para formar soluções para domínios específicos, (KULVATUNYOU; IVEZIC; SRINIVASAN, 2016).

2.5.3.2 Webservices

Como indica o próprio nome, um serviço *web* é um tipo de aplicação na internet, ou seja, uma aplicação normalmente executada sobre o protocolo HTTP (*Hyper Text Transport Protocol*). Um serviço *web* é, portanto, uma aplicação distribuída cujos componentes podem ser implementados e executados em dispositivos distintos como, por exemplo, PCs e dispositivos móveis (MACHADO JUNIOR, 2014).

Os serviços *web* podem ser divididos basicamente em três grupos: os serviços baseados em SOAP (*Simple Object Access Protocol*), os REST (*Representational State Transfer*) e o MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*), protocolo leve projetado exclusivamente para a *IoT*, tem sua vantagem sobre o REST em todas as dimensões.

2.5.3.3 REST - Representational State Transfer

O REST por si só não representa uma arquitetura, mas sim um conjunto de restrições que, quando aplicadas na concepção de um sistema, cria um estilo de arquitetura de *software* (MACHADO JUNIOR, 2014). Um sistema escrito no estilo REST é denominado RESTful, carregando as seguintes características:

- Ser um sistema cliente-servidor.
- Ser independente de estado, ou seja, cada requisição deverá ser independente das outras.
- Tem que suportar um sistema de cache, a infraestrutura de rede deve suportar caches em diferentes níveis.
- Ser acessível de maneira uniforme, cada recurso deve ter um endereço exclusivo e um ponto de acesso válido.
- Tem que ser em camadas e deve suportar escalabilidade.

Um sistema no estilo RESTful pode ser implementado em qualquer arquitetura de rede disponível, de forma que não foi necessário a criação novas tecnologias ou protocolos de rede.

Segundo Machado Junior (MACHADO JUNIOR, 2014), enquanto o SOAP é um protocolo de mensagens, o REST é um estilo de arquitetura de *software* para sistemas hipermídia distribuídos denominados recursos. Recurso RESTful é tudo que possa ser endereçável pela *web*. Isso significa que sistemas em que textos, gráficos, áudio e outras mídias são armazenadas em uma rede e interconectadas através de *hiperlinks*, podendo ser acessados e transferidos entre clientes e servidores.

O REST foi desenvolvido juntamente com o protocolo HTTP 1.1 e, diferente do SOAP que estabelece um protocolo para comunicação de objetos e serviços, utiliza corretamente os verbos HTTP (GET, POST, PUT e DELETE) para criar

serviços que poderiam ser acessados por qualquer tipo de sistema (FIDEL, 2015). Esses métodos HTTP ganham correspondência com operações CRUD (*Create, Read, Update, Delete*). Cada requisição HTTP inclui um dos métodos apresentados na Tabela 1 para indicar qual a operação CRUD que deve ser realizada sobre o recurso.

Tabela 1 – Métodos HTTP e correspondentes operações CRUD.

Métodos HTTP	Operação
GET	Lê um recurso
POST	Cria um novo recurso a partir dos dados requisitados
PUT	Atualiza um recurso a partir dos dados requisitados
DELETE	Remove um recurso

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

As características da arquitetura RESTful foram utilizadas como uma extensão para o OPC-UA (GRUNER; PFROMMER; PALM, 2015). Neste trabalho, a arquitetura RESTful foi implementada e avaliada na forma de um *Web Service* associado a um servidor OPC-DA clássico (tecnologia COM/DCOM) com função de *gateway*, para a transmissão de informações de status e atuação em um centro de torneamento CNC, representando uma alternativa ao uso de servidor OPC-UA.

2.5.3.4 SOAP - *Simple Object Access Protocol*

SOAP é um protocolo leve para a troca de informações em um ambiente descentralizado e distribuído. É um protocolo baseado em XML que consiste em três partes: um envoltório que define uma estrutura para descrever o que está em uma mensagem e como processá-la, um conjunto de regras de codificação para expressar instâncias de tipos de dados definidos pelo aplicativo e uma convenção para representar chamadas de um procedimento remoto e respostas (W3C., 2020).

O SOAP tem o potencial de ser usado em combinação com uma variedade de outros protocolos, a principal é a combinação do SOAP com o HTTP. No entanto, as únicas ligações definidas neste documento descrevem como utilizar o SOAP em combinação com o HTTP e suas extensões.

A Figura 7 apresenta um típico procedimento de operação do protocolo SOAP. Nesse exemplo, um cliente SOAP através de sua biblioteca solicita um

serviço enviando uma mensagem SOAP ao servidor que por sua vez envia outra mensagem SOAP com a resposta do serviço correspondente.

Em um serviço web baseado em SOAP, um cliente geralmente faz uma chamada de procedimento remoto ao servidor solicitando uma operação do serviço web. Essas operações requisição/resposta sobre mensagens SOAP padronizadas permitem que o cliente e o servidor sejam escritos em diferentes linguagens de programação.

Figura 7 – Operação de uma *Web Service* baseado em SOAP.



Fonte: Adaptado de (MACHADO JUNIOR, 2014).

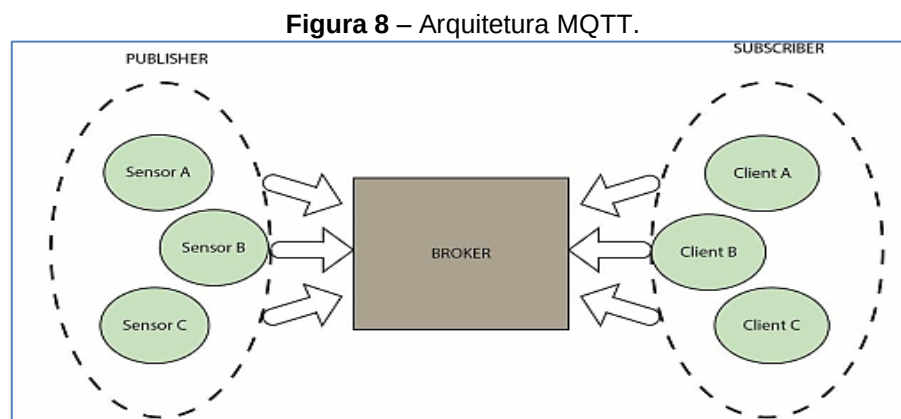
Dentro do conjunto de especificações do padrão OPC, o OPC XML-DA foi a primeira especificação *Web Service* do OPC. Ela utiliza o protocolo SOAP como base para a estruturação das mensagens que são entregues.

2.5.3.5 MQTT - *Message Queuing Telemetry Transport*

No MQTT o esquema de troca de mensagens é fundamentado no modelo *publish/subscriber* (VARGAS; SALVADOR, 2016). O modelo *publish/subscriber* faz com que a comunicação entre as partes seja assíncrona, o que é uma vantagem, pois este modelo desacopla o emissor e o receptor da mensagem tanto no espaço quanto no tempo. Esse modelo é importante nos casos de perda de conexão onde a ela poderá ser restabelecida sem perda de dados. Na arquitetura *publish/subscriber* do protocolo MQTT a identificação das mensagens se dá por meio de tópicos (*topics*). O tópico lembra o conceito de *Uniform Resource Locator* (URL) onde os níveis são separados por barras ("/") (CUNHA, 2016). Em aplicações envolvendo a *Internet das Coisas*, o MQTT é um dos protocolos mais utilizados devido a sua

definição de qualidade de serviço, especificações de segurança, implementação simples e garantia de utilização da banda de uso moderada (LAMPKIN *et al.*, 2012). A Figura 8 elucida o modo de funcionamento do protocolo MQTT.

O MQTT e o HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) estão na mesma camada OSI, mas a maior diferença entre eles é o tamanho da carga útil. No HTTP, a carga útil é alta, portanto não pode ser usada em conexões de baixa qualidade. Além disso, comparado ao HTTP, o MQTT é mais seguro, possui mais níveis de serviço, é mais simples e pode se comunicar de 1 a N. O HTTP também é um protocolo usado no campo da Internet das Coisas.



Fonte: Adaptado de (CUNHA, 2016).

Clientes podem ser tanto publicadores (*publishers*) como assinantes (*subscribers*), ou seja, clientes assinam tópicos para enviar e receber mensagens. É importante salientar que o fluxo de comunicação ocorre majoritariamente de quem publica informações como sensores, por exemplo, para quem assina e precisa receber aquela informação que são os mais variados clientes como, por exemplo, aplicações *web* rodando na nuvem ou um simples *Raspberry*.

O cliente é um cliente MQTT quando um dispositivo é capaz de executar as bibliotecas e módulos MQTT disponíveis para diversos ambientes e linguagens de programação. Um exemplo de cliente MQTT é um *Raspberry* executando um código em python usando as bibliotecas *Eclipse Paho MQTT Python client* ou ESP32 usando um *client* para MQTT (SAHA *et al.*, 2018).

Em um padrão *publish/subscriber*, quando o cliente deseja receber uma informação, ele dá um *subscribe* no tópico de interesse através de uma requisição para o outro elemento da rede que é chamado de *Broker* que atua como um intermediário no processo de comunicação. Clientes que precisam publicar alguma

informação o fazem através do *Broker* também, enviando-lhe as informações que possuem e este é responsável por rotear a mensagem até o destino.

A conexão dos clientes MQTT ao *message Broker* acontece via Protocolo de Controle de Transmissão (TCP). Na conexão se estabelece o *login* (usuário e senha) e o método de criptografia *Transport Layer Security/ Secure Socket Layer* (SSL/TLS). No processo de conexão entre os elementos também se estabelece o nível de *Quality of Service* (Qos) que se deseja para o elemento conectado ao *Broker*. Este Qos define a garantia da entrega da mensagem e possui três níveis. Sendo eles:

1. Qos 0 (*at most once*): é o que possui o menor esforço, onde não são exigidas confirmações no momento em que a mensagem é entregue (CUNHA, 2016);
2. Qos 1 (*at least once*): neste nível existe a confirmação de entrega de uma mensagem, porém várias mensagens iguais são geradas, mas apenas uma terá o reconhecimento de chegada (CUNHA, 2016);
3. Qos 2 (*exactly once*): garante que a mensagem seja entregue exatamente uma vez (CUNHA, 2016) com envio de confirmação de recebimento e confirmações de recebimento de confirmações de recebimento.

Devido às características de controle de conectividade, desacoplamento, o MQTT é altamente desacoplado do espaço, uma vez que os sensores que produzem os dados não necessitam conhecer a identidade dos clientes que estão interessados naquela informação. Enquanto que no CoAP, *Constrained Application Protocol*, é o contrário, o consumidor entra em contato direto com o produtor, o que exige a identificação de ambas as partes, acoplamento de tempo, no MQTT, os produtores podem publicar mesmo que os consumidores estejam desconectados e, inversamente, os consumidores podem ser notificados mesmo que não haja produtores. Ou seja, o *Broker* MQTT gerencia e assegura toda o processo de comunicação, sem que necessariamente os produtores e consumidores estejam conectados simultaneamente.

Enquanto que no CoAP a informação só está disponível enquanto o produtor estiver disponível, e a interação entre os nós precisa ser ao mesmo tempo. Acoplamento de sincronização, que indica o nível de sincronismo da realização de atividades em relação a outras. No MQTT, os produtores não são bloqueados

enquanto produzem eventos e consumidores podem ser assincronamente notificados da ocorrência de um evento enquanto efetuam outra atividade, o que é exatamente oposto ao que ocorre no CoAP.

E também ao fato de o MQTT ser mais voltado para uma comunicação “muitos para muitos”, para transportar mensagens entre vários clientes através de um servidor central *Broker* e utilizando os protocolos da pilha TCP/IP, o CoAP é mais voltado para uma comunicação “um para um”, para transferência de informação entre cliente e servidor, utilizando o protocolo UDP/IP (BANKS, A.; GUPTA, [s.d.]), o MQTT foi preterido para utilização como protocolo de troca de mensagem do trabalho.

No ANEXO C são apresentados os requisitos de tecnologias habilitadoras encontradas na literatura, bem como, os autores que descrevem o seu uso. O ajuste destes requisitos no setor de alimentos foi conduzido ao longo do estudo de caso.

2.6 MANUFATURA ENXUTA

Manufatura Enxuta é um, entre vários nomes adotados para definir o conjunto de técnicas, princípios e recomendações oriundas dos conceitos e pilares do STP, que as empresas seguem com o objetivo de se tornarem mais ágeis e enxutas, potencializando seus resultados perante os desafios de mercado, conforme definido por Womack, Jones e Roos (WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, 1990; WOMACK; JONES; ROOS, 1990).

2.6.1 Introdução a Manufatura Enxuta

O estudo da manufatura enxuta deu origem ao livro “A máquina que mudou o mundo” (*The machine that changed the world*) em 1990, onde os autores James P. Womack, Daniel T. Jones e Daniel Roos deram o nome de produção enxuta ao que Taiichi Ohno e Shigeo Shingo chamaram de Sistema Toyota de Produção (STP), desenvolvido no Japão pela Toyota Motor Company, ao final da década de quarenta, objetivando o combate aos desperdícios, definidos como todas as atividades que consumiam recursos e que não agregavam valor ao produto.

Outra maneira de mostrar esse significado foi feita por (WOMACK; JONES; ROOS, 1990), onde os mesmos afirmaram que ser enxuto é fazer muito mais com

muito menos - menos esforço humano, menos equipamento, menos tempo e menos espaço - aproximando-se dos clientes fornecendo exatamente o que eles querem.

Os princípios que servem de guia para a implementação de um sistema de Manufatura Enxuta foram apresentados por (WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, 1990; WOMACK; JONES; ROOS, 1990):

1. Definir detalhadamente o significado de valor de um produto por meio da perspectiva do cliente final, em termos das suas especificações como preço, prazo de entrega, entre outros.
2. Identificar o fluxo de valor do produto, incluindo os dados de cada operação de transformação necessária, bem como o fluxo de informações inerentes ao mesmo.
3. Gerar um fluxo de valor contínuo com base na cadeia de valor obtida, de modo que isso ocorra sem interrupções, com objetivo de reduzir e, se possível, eliminar as atividades que não agreguem valor na cadeia identificada.
4. Configurar o sistema produtivo de forma que o acionamento do mesmo ocorra a partir do pedido do cliente, seja ele interno ou externo, de forma que o fluxo da programação seja puxado, não empurrado.
5. Buscar incessantemente a melhoria do fluxo de valor por meio de um processo de melhoria contínua da redução de perdas.

Baseados nesses princípios observa-se que o processo de implantação da Manufatura Enxuta está fundamentalmente voltado para a identificação e eliminação de desperdícios, que adicionam apenas custo e tempo aos produtos e processos. Tudo o que não agrega valor ao produto, é desperdício e os mesmos se escondem por toda parte na produção e, para evitá-los, deve-se compreender por completo o que são desperdícios e as suas causas (LIKER, 2005).

Os desperdícios são os sintomas e não as causas dos problemas (OHNO, 1997), e basicamente existem sete tipos deles, (JONES; WOMACK, 2000; OHNO, 1997):

1. Superprodução – produzir mais do que o necessário e/ou antecipadamente, gerando estoques. É o desperdício mais difícil de ser eliminado uma vez pode mascarar tanto outras ineficiências dos processos, quanto problemas operacionais e administrativos.

2. Estoque – consequência da superprodução, está relacionada a custos de obsolescência e manutenção de estoques, desperdício de áreas e armazenamento excessivo, incluindo estoques intermediários de produtos em processo.
3. Processos Desnecessários – desperdícios dos próprios processos devido a introdução de operações desnecessárias ou extras, bem como a existência de algumas operações advindas de um projeto, componentes ou manutenção que poderiam ser melhorados.
4. Defeitos ou Retrabalhos – perdas relacionadas a materiais defeituosos e desperdícios com retrabalhos devido a materiais que não atendem as especificações de qualidade exigidas para os mesmos.
5. Transporte – movimentações desnecessárias de produtos ou peças que não agregam valor ao produto e constituem desperdícios de tempo e recursos.
6. Movimento – perdas relacionadas a movimentos desnecessários e repetitivos dos operadores, que não agregam valor ao produto. Podem estar relacionados à própria organização do local de trabalho.
7. Espera – relacionada à falta de sincronismo e/ou balanceamento das operações, causando ociosidade, acúmulo de material e falta de atividade.

Além dos sete desperdícios básicos descritos, pode-se considerar a existência do oitavo desperdício, defendido por (LIKER, 2005):

8. Conhecimento – perdas relacionadas a não utilização do conhecimento e habilidades dos operadores para eliminação dos demais desperdícios, e implementação de melhorias e inovações. Também pode ser descrito como as perdas relacionadas à falta de compartilhamento do conhecimento adquirido.

Uma vez conhecidos os desperdícios, é imprescindível o entendimento de como a Manufatura Enxuta lida com os mesmos, de forma a buscar a excelência operacional. Nesse contexto, várias técnicas e ferramentas são usadas, como por exemplo, o *Just in Time* (JIT), *Kanban*, *Jidoka*, *Heijunka*, 5S, *Poka-Yoke*, *Tempo Takt*, *Total Preventive Maintenance* (TPM), *Andon*, Trabalho Padronizado, entre outros, (JONES; WOMACK, 2000; LIKER, 2005; OHNO, 1997; SHINGO, 1996; SHINOHARA, 1988; WOMACK; JONES, 2004).

2.6.2 Ferramentas da Manufatura Enxuta

A literatura disponível está repleta de autores que adaptaram e usaram várias dessas ferramentas e técnicas na descrição de seus trabalhos e que, se fossem descritas nos seus detalhes e nuances, tornariam essa revisão de literatura extensa. Dessa forma o Quadro 10 apresenta uma síntese das várias ferramentas e técnicas disponíveis, com uma breve explicação de cada uma delas, com suas respectivas referências, conforme proposto por (OKIMURA, 2013).

Quadro 10 – As Ferramentas da Manufatura Enxuta.

Ferramenta	Descrição
<i>Jidoka</i>	Segundo (PINTO, 2014), devem-se desenvolver esforços, no sentido de uniformizar procedimentos e produtos/serviços e, sobretudo simplificar produtos e processos. As práticas <i>Jidoka</i> desenvolvem-se tanto melhor, quanto maior for à uniformização e a simplificação.
<i>Poka-Yoke</i>	<i>Poka-Yoke</i> é uma palavra japonesa que significa “sistema à prova de erro” ou “algo que evita erros”. Os princípios desta ferramenta podem ser aplicados na melhoria de produtos, serviços e processos em todos os tipos de organizações (PINTO, 2014).
<i>Just-in-time</i>	Para produzir usando o <i>Just-in-time</i> de forma que cada processo receba o item exato necessário, quando ele for necessário, e na quantidade necessária, os métodos convencionais de gestão não funcionam bem (OHNO, 1997).
<i>SMED</i>	SMED é uma troca rápida de ferramentas. Utiliza-se na indústria, para reduzir o tempo do processo do setup, (PINTO, 2014).
<i>Kaizen</i>	Segundo (SETEC, 2006) a palavra japonesa <i>Kaizen</i> significa: <i>KAI</i> =Mudança, <i>ZEN</i> =Boa (para melhor), ou seja, <i>KAIZEN</i> = melhoria contínua da qualidade em todas as atividades produtivas.
<i>5S</i>	Segundo (EGOSHI, 2006) os 5 “S” são as iniciais de 5 palavras japonesas <i>Seiton</i> (organização), <i>Seiri</i> (separação e descarte), <i>Seiso</i> (limpeza), <i>Seiketsu</i> (padronização) e <i>Shitsuke</i> (disciplina), que estão intimamente relacionados com wa – harmonia.
<i>Kanban</i>	Trata-se de um sistema simples e visual que se baseia no princípio de que nenhum posto de trabalho pode produzir sem que o seu cliente o autorize (PINTO, 2014).
<i>Andon</i>	Para (LIKER, JEFFREY K; MEIER, 2007) o uso de controle visuais é o passo mais importante no processo de desenvolvimento da padronização e ele de vê atuar junto com a filosofia dos 5’s. Gerenciamento Visual é a técnica utilizada para facilitar o dia-a-dia de uma fábrica ou processo e melhorar ainda mais o ambiente de trabalho.

Fonte: Adaptado de Okimura (2013)

Liker (2005) salienta que é importante à adaptação do sistema de Manufatura Enxuta a cada organização, pois dificilmente será possível utilizá-lo em sua plenitude. Uma empresa que deseja ser enxuta não deve simplesmente imitar as ferramentas usadas no STP, mas sim entender seus ensinamentos e adaptá-los da maneira mais correta, fazendo com que os colaboradores vivenciem e criem a cultura do pensamento enxuto.

De acordo com (TAJ, S.; BERRO, 2006), muitas empresas desperdiçam de 70% a 90% de seus recursos disponíveis, e mesmo aquelas que praticam a manufatura enxuta podem chegar a perder até 30% desses recursos. Cada empresa tem de encontrar o seu próprio caminho para implementar a Manufatura Enxuta, pois não há nenhuma maneira universal que possa ser aplicada a todos os casos.

Domingo *et al.* (2007), através de seu trabalho de estudo de caso industrial, afirmaram que a utilização das técnicas de Manufatura Enxuta transformou uma antiga linha de fabricação, obtendo ganhos no tempo de ciclo e também na redução de desperdícios relacionados a estoques desnecessários, transporte excessivo e períodos ociosos, sem alterar a filosofia de produção ou layout da mesma.

Ainda de acordo com os autores, a Manufatura Enxuta é uma ferramenta importante para melhoria de processos aplicável a qualquer tipo de indústria. No entanto, é preciso adaptar as ferramentas às suas características de fabricação.

Green, Lee e Kozman (GREEN, J.C.; LEE, J.; KOZMAN, 2010) concluíram que a utilização das ferramentas e técnicas da Manufatura Enxuta proporcionam a eliminação de uma grande quantidade de desperdícios relacionados a sistemas de abastecimento e manuseio de materiais.

Através de um estudo de caso desenvolvido pelos autores em questão, pode-se verificar que o manuseio de itens foi reduzido em cerca 67%, enquanto que o aumento de produtividade relacionado proporcionou um ganho de cerca de 14 horas semanais, que se convertem em aumento de produção.

Na mesma linha dos autores citados anteriormente, Singh *et al.* (SINGH, 2010) mostraram que a implementação das ferramentas da Manufatura Enxuta acarretaram em redução de inventário (WIP) em cerca de 89%, redução de estoque de produtos acabados em 17%, redução de prazos de entrega dos produtos em 83%, redução de tempo de processamento em 12%, redução de mão de obra necessária em 30%, e de aumento produtividade por operador em cerca de 42%.

De acordo com o exposto, pode-se observar o potencial do uso das técnicas de Manufatura Enxuta para implementação de melhorias.

2.6.3 Indicadores de *Performance*

Indicadores de *performance* representam um conjunto de medidas centradas no desempenho organizacional de acordo com os pontos mais críticos para o sucesso e futuro da organização (PARMENTER, 2007).

Parte de qualquer estratégia organizacional adequada é essencial o planejamento e medição de *performance*. Essa medição fornece um retorno comparativo que auxilia na tomada de decisões.

Melhorar o desempenho e os pontos principais é parte de qualquer estrutura de boa governança. De um ponto de vista prático, as medidas de *performance* são atividades chave na condução dos resultados.

2.6.3.1 OEE (*Overall Equipment Efficiency*)

Segundo a (SETEC, 2006) OEE é o indicador básico do *lean* e TPM. O objetivo é avaliar a eficiência geral de um equipamento. O cálculo considera a perda de disponibilidade, produtividade e qualidade.

Disponibilidade considera Perda por *Down Time*, conforme a fórmula:

$$\% \text{ Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo de Produção Realizada}}{\text{Tempo de Produção Planejada}}$$

Down time pode ser definido como o tempo entre a parada do dispositivo devido a uma falha até que ele seja reparado e pronto para uso, por exemplo:

- Desgaste nos componentes;
- Manutenção sem planejamento;
- Falhas nos equipamentos;
- Quebras em geral;
- Erro de operação;
- Falta de energia elétrica.

Desempenho considera perdas por velocidade, conforme a fórmula:

$$\% \text{ Desempenho} = \frac{\text{Peças Produzidas de Fato}}{\text{Produção Planejada}}$$

Perdas por desempenho pode ser definidas como perdas resultantes de tempo de inatividade da máquina devido a distúrbios no processo que requerem intervenção do operador ou ajuste da tarefa. A perda não é necessariamente o resultado de um mau funcionamento do hardware, pode ser causada pela perda das configurações da máquina. Também pode ser devido a desvios no material ou acúmulo de resíduos / sucata, causando obstrução ou entupimento, por exemplo:

- Falhas de alimentação;
- Máquinas travadas;
- Falta de fluxo produtivo;
- Reset da máquina;
- Falhas no sensor.

Qualidade considera perdas por qualidade, conforme a fórmula:

$$\% \text{ Qualidade} = \frac{\text{Peças Boas}}{\text{Total de Peças}}$$

Defeitos por qualidade podem ser definidos por produção de peças que não atendem às especificações do produto final (incapacidade de passar pelo controle de qualidade na primeira tentativa). A produção não conforme gera retrabalho e sucata que não agregam valor, desperdiça tempo e material, como por exemplo:

- Produto fora da especificação;
- Falhas no processo;
- Problemas de qualidade;
- Montagem não conforme.

Fórmula para calcular o OEE, conforme quadro 11:

$$\text{OEE} = \% \text{ disponibilidade} \times \% \text{ desempenho} \times \% \text{ qualidade}$$

Para Seiichi Nakajima (NAKAJIMA, 1988), no cálculo do Rendimento Operacional Global deve-se contemplar, tanto o índice de tempo operacional, como

o da *performance* operacional e o dos produtos aprovados pela qualidade (FERREIRA, 2004).

Quadro 11 – Eficiência global do Equipamento.

Tempo Operacional Total			
Disponibilidade	A. Tempo Operacional Líquido		Nenhuma Produção Programada
	B. Tempo de Execução	Quebras Set-up / Ajuste Perda de Ferramental	
Desempenho	C. Meta de Saída		
	D. Saída Real	Pequenas Paradas Ociosidade Velocidade Reduzida	
Qualidade	E. Saída Real		
	F. Saída Boa	Retrabalho Scrap	
OEE = B/A x D/C x F/E			

Fonte: (SETEC, 2006).

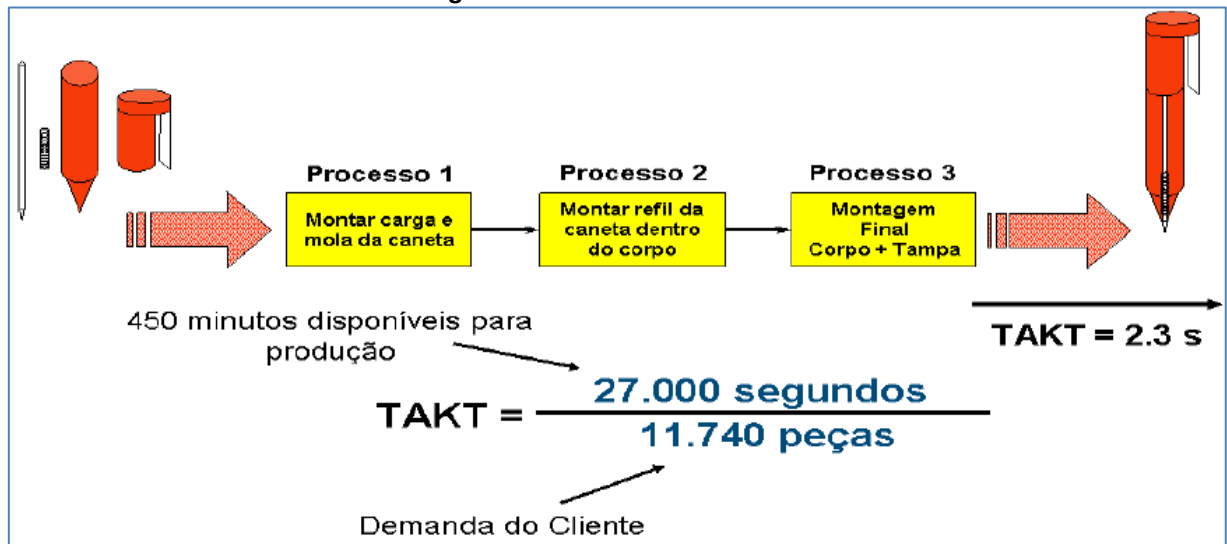
2.6.3.2 Takt Time

Segundo (SETEC, 2006) *Takt Time*, traduzindo do inglês, “Ritmo”, é a taxa de demanda do cliente. *Takt Time* é o pulso de um sistema lean. O *Takt time* é calculado pela divisão do tempo de produção pela quantidade que o cliente necessita naquele tempo.

De acordo com (LINKER, JEFFREY, MEIER, 2007) muitas empresas confundem a diferença entre *takt-time* e tempo de ciclo. O *takt time* não é uma ferramenta. É um conceito usado para projetar o trabalho e ele mede o ritmo da demanda do cliente, em termos de cálculo, ele é o tempo disponível para produzir peças em um intervalo específico de tempo dividido pelo número de peças necessárias naquele intervalo de tempo.

Assim o número obtido diz que uma peça precisa ser produzida a cada minuto para atender a necessidade do cliente. Já o tempo de ciclo é o tempo necessário para se completar uma tarefa, não leva em consideração à demanda do cliente. Para exemplificar o *tak time* e seu cálculo, veja a Figura 9:

Figura 9 – Cálculo do *takt time*.



Fonte: (SETEC, 2006).

O *Takt time* serve como uma “batida” comum para todas as operações no fluxo de valor, ditando o ritmo que a produção deve seguir para atender a demanda do cliente (LINKER, JEFFREY, MEIER, 2007).

2.6.3.3 Cpk e Nível *Sigma*

De acordo com (ECKES, 2001) para calcular o *Sigma* podemos utilizar dois métodos: o método discreto ou o método contínuo. Para se usar o método discreto é necessário conhecer três itens sobre aquilo que está sendo medido:

1. Unidade: é o produto ou serviço;
2. O defeito: qualquer parâmetro que não atenda aos requisitos do cliente;
3. Oportunidade: chance do defeito acontecer.

A fórmula para calcular o sigma é a seguinte:

$$\text{Sigma } \sigma = \frac{\text{Número de defeitos}}{\text{Número de oportunidades} \times \text{Número de unidades}} \times 1.000.000$$

Esta fórmula é conhecida como Defeitos por Milhão de Oportunidades ou DPMO, com o valor obtido nesta fórmula examina-se a Tabela 2 e encontra-se o valor do sigma do processo.

Veja o exemplo: Suponhamos que um hotel avaliou 520 pedidos de serviços de quarto, 3 tiveram atrasos no atendimento e 1 uma pessoa avaliou o serviço com uma nota 02, esta avaliação baixa vamos considerar como defeito. Considere que tínhamos 3 oportunidades de defeitos que eram: atrasos, baixa avaliação e pouca diversidade no cardápio. O cálculo ficaria o seguinte:

$$DPMO = \frac{4}{3 \times 520} \times 1.000.000 = 2.564,10$$

Verificando a Tabela 2 verificamos que o desempenho sigma do processo é 4,3. Para (ECKES, 2001) pelo método contínuo do sigma deve-se calcular o Cpk – Índice de capacidade comparado a uma constante k. O cálculo do CpK é o seguinte, utilizar o menor dos valores:

$$Cpks = \frac{LSE - X}{3s}$$

$$Cpki = \frac{X - LIE}{3s}$$

LSE = Limite superior especificado

LIE = Limite inferior especificado

s = Desvio Padrão da amostra

De posse do valor Cpk procure na tabela o sigma do processo.

Exemplo: Considere que o serviço de quarto teve a seguinte avaliação: Uma média de 22 minutos para atendimento; Um desvio padrão de 2; Um limite superior especificado de 30 minutos, logo teremos o seguinte CpK:

$$CpK = \frac{30 - 22}{3 \times 2} = 1,33$$

Consultando a Tabela 2 encontramos que o desempenho sigma é 4,00.

Segundo (ECKES, 2001) os dados contínuos mostram-se melhores de serem usados, pois demonstram a magnitude da variação do processo; podem nos indicar o tipo de variação existente (causa comum ou especial); são menos numerosos para

serem coletados e, além disso, o cálculo do sigma a partir dos dados discretos, embora válido, pode ser enganoso em algumas situações.

Segundo Werkema, (2003), existe mais um modo de calcular o sigma do processo, que são as métricas baseadas em defeituosos.

As métricas baseadas em defeituosos não levam em consideração o número de defeitos, ou seja, um item defeituoso que possui um defeito é equivalente a um defeituoso que apresenta cem defeitos.

As duas principais métricas baseadas em defeituosos são: proporção de defeituosos (p) e rendimento final (Y_{final}).

A proporção de defeituosos (p) e o rendimento final (Y_{final}) são calculados a partir das fórmulas abaixo:

$$p = \frac{\text{Número de Defeituoso}}{\text{Número total de unidades avaliadas}}$$

$$Y_{final} = 1 - p$$

Exemplo: Considerem que um restaurante teve 10 pedidos defeituosos de um total 1000 pedidos, logo teremos:

$$p = \frac{10}{1000} = 0,01 \times 100 = 1\%$$

$$Y_{final} = 1 - 0,01$$

$$Y_{final} = 0,99 \text{ ou } 99\%$$

Consultando a Tabela 2, verifica-se que o desempenho sigma do processo é de aproximadamente 3.9.

Tabela 2 – Conversão de capacidade do processo e sigma.

Índice de Capacidade (Cpk)	Sigma de curto prazo do processo	Sigma de longo prazo do processo	Rendimento (Yield)	DPMO	Defeitos por 100000	Defeitos por 10000	Defeitos por 1000	Defeitos por 100
2	6	4,5	99,99966	3	0,34	0,034	0,0034	0,00034
1,97	5,9	4,4	99,99946	5	0,54	0,054	0,0054	0,00054
1,93	5,8	4,3	99,99915	9	0,85	0,085	0,0085	0,00085
1,90	5,7	4,2	99,9987	13	1,34	0,134	0,0134	0,00134
1,87	5,6	4,1	99,9979	21	2,1	0,21	0,021	0,0021
1,83	5,5	4	99,9968	32	3,2	0,32	0,032	0,0032
1,80	5,4	3,9	99,995	48	4,8	0,48	0,048	0,0048
1,77	5,3	3,8	99,993	72	7,2	0,72	0,072	0,0072
1,73	5,2	3,7	99,989	108	10,8	1,08	0,108	0,011
1,70	5,1	3,6	99,984	159	15,9	1,59	0,159	0,016
1,67	5	3,5	99,98	233	23,3	2,33	0,233	0,023
1,63	4,9	3,4	99,97	337	33,7	3,37	0,337	0,034
1,60	4,8	3,3	99,95	483	48,3	4,83	0,483	0,048
1,57	4,7	3,2	99,93	687	68,7	6,87	0,687	0,069
1,53	4,6	3,1	99,9	968	97	10	0,968	0,097
1,50	4,5	3	99,87	1350	135	13	1,3	0,13
1,47	4,4	2,9	99,81	1866	187	19	1,9	0,19
1,43	4,3	2,8	99,74	2555	256	26	2,6	0,26
1,40	4,2	2,7	99,65	3467	347	35	3,5	0,35
1,37	4,1	2,6	99,5	4661	466	47	4,7	0,47
1,33	4	2,5	99,4	6210	621	62	6,2	0,62
1,30	3,9	2,4	99,2	8198	820	82	8,2	0,82
1,27	3,8	2,3	98,9	10724	1072	107	10,7	1,1
1,23	3,7	2,2	98,6	13903	1390	139	13,9	1,4
1,20	3,6	2,1	98,2	17864	1786	179	17,9	1,8
1,17	3,5	2	97,7	22750	2275	228	22,8	2,3
1,13	3,4	1,9	97,1	28716	2872	287	28,7	2,9
1,10	3,3	1,8	96,4	35930	3593	359	35,9	3,6
1,07	3,2	1,7	95,5	44565	4457	446	44,6	4,5
1,03	3,1	1,6	94,5	54799	5480	548	54,8	5,5
1,00	3	1,5	93,3	66807	6681	668	66,8	6,7
0,97	2,9	1,4	91,9	80757	8076	808	80,8	8,1
0,93	2,8	1,3	90,3	96801	9680	968	96,8	9,7
0,90	2,7	1,2	88,5	115070	11507	1151	115,1	11,5
0,87	2,6	1,1	86,4	135666	13567	1357	135,7	13,6
0,83	2,5	1	84,1	158655	15866	1587	158,7	15,9
0,80	2,4	0,9	81,6	184060	18406	1841	184,1	18,4
0,77	2,3	0,8	78,8	211855	21186	2119	211,9	21,2
0,73	2,2	0,7	75,8	241964	24196	2420	242,0	24,2
0,70	2,1	0,6	72,6	274253	27425	2743	274,3	27,4
0,67	2	0,5	69,1	308538	30854	3085	308,5	30,9
0,63	1,9	0,4	65,5	344578	34458	3446	344,6	34,5
0,60	1,8	0,3	61,8	382089	38209	3821	382,1	38,2
0,57	1,7	0,2	57,9	420740	42074	4207	420,7	42,1
0,53	1,6	0,1	54,0	460172	46017	4602	460,2	46,0
0,50	1,5	0	50,0	500000	50000	5000	500,0	50
0,47	1,4	-0,1	46,0	539828	53983	5398	540	54
0,43	1,3	-0,2	42,1	579260	57926	5793	579	58
0,40	1,2	-0,3	38,2	617911	61791	6179	618	62
0,37	1,1	-0,4	34,5	655422	65542	6554	655	66
0,33	1	-0,5	30,9	691462	69146	6915	691	69
0,30	0,9	-0,6	27,4	725747	72575	7257	726	73
0,27	0,8	-0,7	24,2	758036	75804	7580	758	76
0,23	0,7	-0,8	21,2	788145	78815	7881	788	79
0,20	0,6	-0,9	18,4	815940	81594	8159	816	82
0,17	0,5	-1	15,9	841345	84135	8413	841	84
0,13	0,4	-1,1	13,6	864334	86433	8643	864	86
0,10	0,3	-1,2	11,5	884930	88493	8849	885	88
0,07	0,2	-1,3	9,7	903199	90320	9032	903	90
0,03	0,1	-1,4	8,1	919243	91924	9192	919	92
0,00	0	-1,5	6,7	933193	93319	9332	933	93

Fonte: (ECKES, 2001).

2.6.3.4 MTBF e MTTR

Para a (SETEC, 2006) Tempo Médio Entre Falhas (MTBF) trata-se da confiabilidade; É a probabilidade da máquina e/ou equipamento operar continuamente, sem parar, por um intervalo de tempo sob condições pré-determinadas. Forma de calcular:

$$MTBF = \frac{\text{Tempo Disponível} - \text{Horas paradas não planejadas}}{\text{Número de Intervenções}}$$

$$\begin{aligned} \text{Horas Paradas não planejadas} = & \text{Horas Manutenção Corretiva} + \\ & \text{Horas Falta de Mão de Obra} + \text{Horas Falta Matéria Prima} + \\ & \text{Horas Falta Pessoal} \end{aligned}$$

Tempo Médio Para Reparo (MTTR) – Manutenibilidade – É a característica do projeto, instalação e operação, normalmente expressada como a probabilidade na qual a máquina / equipamento pode ser reabilitada a uma determinada condição de operação, em um intervalo de tempo pré-determinado, quando a manutenção é feita de acordo com os procedimentos.

$$MTTR = \frac{\text{Horas de Manutenção Corretiva}}{\text{Número de Intervenções}}$$

No ANEXO D são apresentados os requisitos preliminares dos indicadores de *performance* da manufatura enxuta encontrados na literatura, bem como, os autores que descrevem o seu uso. O ajuste destes requisitos no setor de alimentos foi conduzido ao longo do estudo de caso.

2.7 SOLUÇÕES DISPONÍVEIS NO MERCADO

Nesta seção encontra-se um estudo das tecnologias usadas a nível industrial para medição e gestão da eficiência. Depois de efetuada a pesquisa de mercado foi possível encontrar dispositivos tanto de *software* como de *hardware*, que têm como objetivo a gestão da eficiência. Na Tabela 3 temos a designação destes produtos, o seu fabricante, assim como, o resultado final da sua concepção.

Tabela 3 – Dispositivos com funcionalidades similares às do projeto.

Descrição do produto	Fabricante	Concepção
<i>Mobile Measuring Box System</i>	Bosh Packaging Technology	<i>Hardware e Software</i>
<i>Model INT-OEE</i>	London-Electronics	<i>Hardware</i>
<i>Proficy OEE</i>	GE	<i>Software</i>
<i>Wonderware MES Software</i>	Intensys-WonderWare	<i>Software</i>
<i>Performance OEE</i>	Moody Automation & OEEsystems	<i>Hardware e Software</i>

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

2.7.1 *Mobile Measuring Box System*

Este produto produzido pela empresa *Bosh Packaging Technology* possibilita uma visão primária dos componentes do OEE auxiliando procedimentos futuros. A *Measuring Box* pode ser ligada a oito componentes de máquinas para coleta digital de sinais. Existe uma *interface ethernet* que permite coleta de informação diretamente do sistema de controle da planta. O modelo de turnos pode ser carregado na unidade de controle do *box* e os ciclos de medida são definidos para cada máquina. Deste modo a coleta de dados é completamente automática, não necessitando assim de introdução de dados pelo operador. Adicionalmente pode ser ligado um painel tátil à *box* de forma a serem visíveis os dados de produção, deste modo o operador pode manualmente introduzir causas de perdas diretamente nos relatórios sobre o tempo de parada planeado da máquina. (BOSH, 2020)

2.7.2 Model INT-OEE

Produzido pela *London-Electronics* este modelo *low-cost* usa vários *displays* de oito segmentos para mostrar os valores que calcula ou adquire. É de simples instalação sendo de dimensões pequenas, fornece informações importantes e necessárias à avaliação da produtividade de uma máquina. Este dispositivo serve para percepções em tempo real diretamente na planta da fábrica, (LONDON-ELECTRONICS, 2020).

2.7.3 Proficy OEE

O *Proficy OEE* da GE apresenta-se como sendo um *software* "fora da caixa" que possibilita o monitoramento, medição e melhoria contínua do desempenho da fabricação. Este produto é uma ferramenta simples com as melhores práticas de gestão de eficiência. Para otimizar a produtividade da mão-de-obra disponível, este *software* não coleta apenas as causas de inatividade dos operadores mas também as informações de produtividade. Com estas informações é possível uma melhor avaliação da alocação dos recursos com base na produtividade do pessoal, possibilitando ainda a identificação de capacidades adicionais dos operadores sem necessidade de novas contratações. É possível ainda uma manutenção antecipada que reduz drasticamente os custos com reparações através de tendências estatísticas que ajudam a prevenir falhas iminentes, (GE, 2020).

2.7.4 Wonderware MES Software

Este software fornece uma aproximação padronizada e configurável para a monitorização do OEE e identificação do *downtime*. O *software* liga-se de forma não intrusiva nos sistemas de automação já existentes para gerar medições altamente precisas que devem ser usadas para avaliação das melhorias a implementar. Informações sobre paradas críticas do equipamento e sobre a sua eficiência são comunicadas em tempo real ao operador e aos gestores de produção, que podem tomar decisões imediatas resultando numa melhoria no desempenho usando como ferramentas os resultados operacionais mais atuais. Entre as suas capacidades mais importantes estão: monitoramento do OEE em tempo real, integração com outras

aplicações criadas pela empresa para melhor gestão de materiais e processos da planta de produção, (AEVA, 2020).

2.7.5 PerformOEE

Este produto é um sistema eletrônico que coleta automaticamente os dados de produção em tempo real para todos os tipos de máquinas mostrando a disponibilidade do equipamento e do processo, os seus desempenhos e o que é produzido em termos de qualidade. Reporta e monitora o OEE em tempo real fornecendo aos gestores de produção uma visão realista do desempenho operacional por máquina/linha/turno/processo. A coleta de dados por parte do *PerfomOEE* é feita em 3 níveis conforme os casos: a coleta de informação pode ser feita manualmente, através de coleta de sinais por uma unidade de leitura das entradas e saídas da máquina e de sinalização luminosa e, por fim, pelas entradas e saídas do PLC associado a máquina monitorada. Tudo isto com acesso ao *software* que permite obter em tempo real, gráficos pormenorizados e gerais das medições, relatórios e quadros de apresentação de informação, (MOODY, 2020).

No Quadro 12 são apresentadas às características das tecnologias disponíveis no mercado e o comparativo de seus principais componentes.

Quadro 12 – Características das tecnologias disponíveis.

Soluções Disponíveis	Referência	Hardware	Software	Painel	Andon
<i>Mobile Measuring Box System</i>	(BOSH, 2020)	X	X		
<i>Model INT-OEE</i>	(LONDON-ELECTRONICS, 2020)	X			
<i>Proficy OEE</i>	(GE, 2020)		X	X	
<i>Wonderware MES Software</i>	(AEVA, 2020)	X	X	X	
<i>Performance OEE</i>	(MOODY, 2020)	X	X	X	X

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta como foi executada a pesquisa e o desenho metodológico adotado, evidenciando a classificação da pesquisa, variáveis do problema da pesquisa, hipóteses, o método, o ambiente da pesquisa de campo, as técnicas utilizadas para a coleta de dados, seus objetivos e o procedimento técnico adotado.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A abordagem desse trabalho é uma pesquisa qualitativa e quantitativa, segundo a definição de (YIN, 2005). Dentre as modalidades de delineamento de pesquisa, este trabalho é classificado como um estudo de caso. Para (FREITAS, W.R.S.F; JABBOUR, 2010), o estudo de caso detalha e sistematiza informações sobre um fenômeno e, portanto, faz uso de procedimentos metodológicos que enfatizam a contextualização e a representatividade do caso. A natureza dessa pesquisa é aplicada, pois gera conhecimento para a aplicação prática e dirigida às soluções de problemas específicos, (SILVA, E.L.; MENEZES, 2005).

3.2 VARIÁVEIS DO PROBLEMA DA PESQUISA

Dentro do processo produtivo encontram-se uma série de variáveis que influenciam significativamente no desempenho, neste trabalho foca-se nos indicadores que estão diretamente relacionados aos equipamentos e processos. Para o caso estudado elencou-se como principais variáveis: o índice de eficiência global OEE, o nível sigma do processo, MTBF e MTTR.

3.3 HIPÓTESES EXPERIMENTAIS

Duas hipóteses são associadas ao caso de estudo, uma relacionada à melhoria do desempenho produtivo, e outra à continuidade do *template* de manufatura avançada após a conclusão do projeto, sendo:

- Primeira hipótese: supõe a efetividade do *template* de manufatura avançada em incrementar a produtividade na empresa objeto do estudo.
- Segunda hipótese: supõe a capacidade do *template* de manufatura avançada em perpetuar-se na empresa objeto de estudo após o término do projeto.

3.4 TÉCNICAS UTILIZADAS PARA COLETA DE DADOS

Freitas e Jabbour (2010) descrevem uma série de técnicas de coleta de dados em estudo de caso. Marconi e Lakatos (2010) explicam que cada uma dessas técnicas possui vantagens e desvantagens que precisam ser consideradas dependendo dos objetivos específicos. Nesse trabalho foram utilizadas as técnicas apresentadas no Quadro 13.

Quadro 13 – Técnicas de coleta e tratamento de dados por objetivos.

CAPÍTULO	OBJETIVO ESPECÍFICO	DESDOBRAMENTO	TÉCNICA DE PESQUISA	RESULTADOS
REFERENCIAL TEÓRICO	Objetivo específico a) Pesquisar os parâmetros para concepção de um Template de Manufatura Avançada (TMA) integrado para aquisição de dados de linhas de produção.	Identificar os requisitos da Manufatura Avançada	Revisão Bibliográfica	Análise bibliométrica e análise de conteúdo
		Identificar as Tecnologias Habilitadoras	Revisão Bibliográfica	Quadro preliminar de tecnologias habilitadoras
		Identificar os Indicadores de Performance	Revisão Bibliográfica	Quadro preliminar de indicadores de Performance
		Identificar Soluções Disponíveis no Mercado	Pesquisa de Mercado	Quadro preliminar das características das Soluções de Mercado
METODOLOGIA DA PESQUISA	Objetivo específico b) Construir o template de manufatura avançada	Analisar cada Tecnologia Habilitadora	Análise Bibliográfica	Definição das tecnologias empregadas no template ANEXO C
		Analisar cada Indicador de Performance	Análise Bibliográfica	Definição dos indicadores empregados no template ANEXO D
		Analisar cada Solução de Mercado	Observação direta e análise documental	Definição dos requisitos funcionais empregados no template ANEXO E
		Construir o TMA	Observação direta e análise documental ANEXO C, D e E	Template de Manufatura Avançada, denominado de TMA ANEXO F e G
ESTUDO DE CASO	Objetivo específico c) Aplicar o TMA na empresa do caso de estudo	Auditar a empresa do caso de estudo e Executar as etapas do DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Implementar e Controlar)	Observação direta e análise documental	Resultado e discussão da aplicação do TMA template de manufatura avançada
	Objetivo específico d) Avaliar o TMA	Comparar os indicadores de antes da aplicação do template contra os indicadores após a aplicação.	Observação direta e análise documental	Avaliação do TMA template de manufatura avançada

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

3.5 DEFINIÇÃO DO TMA

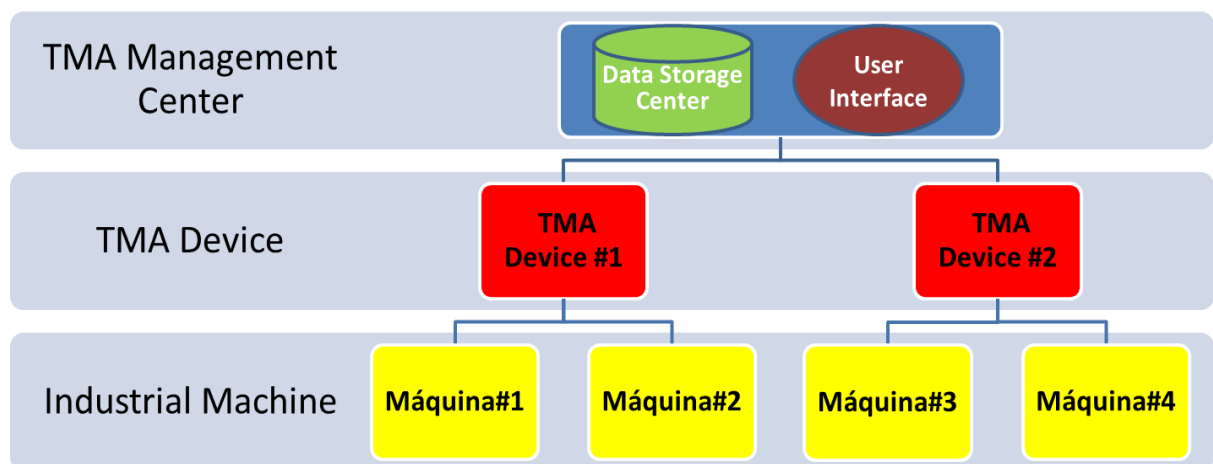
Nesta seção expõe-se o roteiro de construção de um modelo experimental denominado *template* de manufatura avançada teórico explicando o passo a passo necessário para a implementação da arquitetura do *template*.

Deste modo o conceito da proposta apresentado assenta numa pirâmide de níveis, divida em três patamares. De forma a auxiliar a concepção desta proposta foram criados alguns termos genéricos:

- *Industrial Machine*
- *TMA Device*
- *TMA Management Center*

Como podemos observar na Figura 10, cada um dos termos genéricos que fará parte de um patamar da estrutura do conceito.

Figura 10 – Estrutura do Conceito do TMA.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Para construção do TMA foram seguidos os seguintes passos:

- 1º Passo – Definir as tecnologias habilitadoras – ANEXO C;
- 2º Passo – Definir os indicadores de *performance* – ANEXO D;
- 3º Passo – Definir os requisitos funcionais – ANEXO E;
- 4º Passo – Aplicação do método de implantação do TMA.

3.5.1 Definir as Tecnologias Habilitadoras

Atualmente a Indústria vem vivendo o processo de migração para a Indústria 4.0. “Hoje, vive-se no limiar da quarta revolução industrial, que se apoia fortemente nas tecnologias habilitadoras, tais como: *Internet of Things (IoT)*, *machine learning*, *big data analytics*, *cyber-physical systems (CPS)*, *machine-to-machine (M2M)* e *cloudcomputing*. Essas tecnologias, trabalhando cooperativamente, são utilizadas para promover a transformação digital descrita nas visões ao redor do mundo, entre as quais se destacam: *Industry 4.0*, *Industrial Internet Consortium* e *Manufatura Avançada[...]*”, Segundo Azevedo, (2017). Portanto, para o TMA foram consideradas todas as tecnologias habilitadoras presentes no ANEXO C.

3.5.2 Definir os Indicadores de Performance

Os indicadores de *performance* definem as métricas e os objetivos da empresa. (MAASOUMAN, 2014), dispõe que a definição dos objetivos de *performance* para uma empresa deve ser definida a partir de uma visão prática. Netland e Ferdows, (NETLAND, T. H.; FERDOWS, 2014), acrescentam que os indicadores devem estar associados aos processos produtivos para evitar confusão quanto ao efeito de ações externas à planta. Portanto, para o TMA foram considerados todos os indicadores de *performance* presentes no ANEXO D.

3.5.3 Definir Requisitos Funcionais do TMA

Na Tabela 4, são discriminados os requisitos necessários para cumprir cada objetivo de forma separada. Como se pode observar existem requisitos fundamentais ao funcionamento do sistema (funcionais) e requisitos que, sendo também importantes para o desempenho do sistema, não são vitais para o funcionamento deste. Tendo-se chegado aos requisitos do sistema é necessário perceber como eles interagem, é importante salientar que só requisitos funcionais darão origem às funcionalidades do sistema.

Portanto, para a construção do TMA foram considerados os requisitos funcionais presentes na Tabela 4, onde as especificações detalhadas de suas respectivas funcionalidades são demonstradas no ANEXO E.

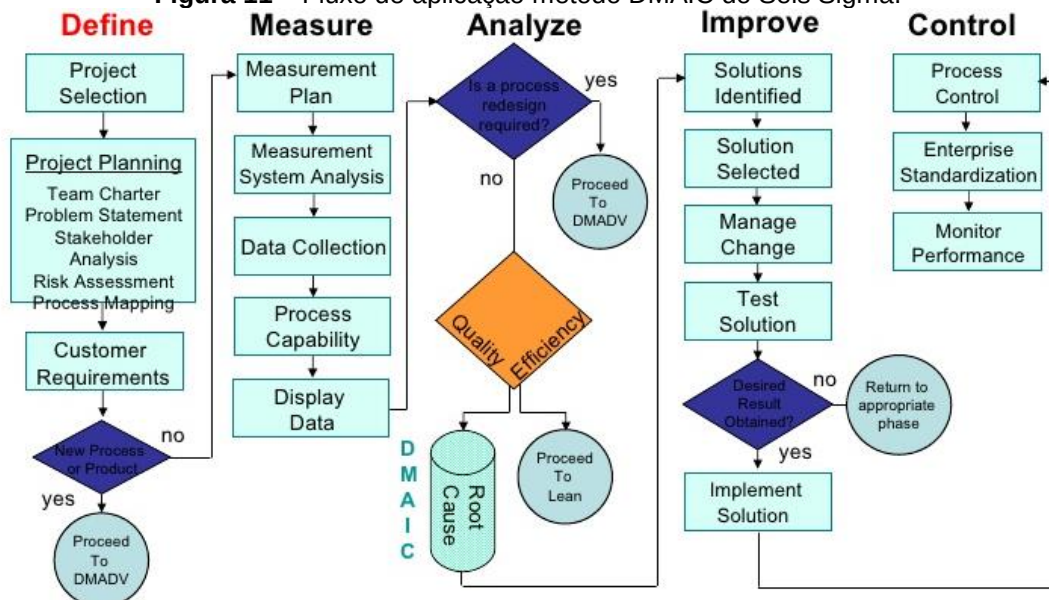
Tabela 4 – Requisitos funcionais do TMA.

Objetivo	Descrição do Requisito	Natureza do Requisito
AQUISIÇÃO DE INFORMAÇÕES DE OPERAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	Leitura de sensores ou atuadores dos equipamentos industriais.	Funcional
	Processamento/tradução da informação lida, convertendo-a em informação útil.	Funcional
	Armazenamento da informação processada.	Funcional
PROCESSAMENTO DO OEE	Armazenamento de dados introduzidos pelo usuário, de valores constantes para o cálculo do OEE, como por exemplo, tempo de produção planejado ou o tempo de ciclo de produção de um determinado produto.	Funcional
	Utilização da informação processada e introduzida para o cálculo do OEE.	Funcional
	Apresentação dos resultados obtidos no cálculo dos componentes e do próprio OEE.	Funcional
	Armazenamento da evolução do OEE e seus parâmetros.	Não Funcional
REGISTRO DE CAUSAS DE PARADAS E ANOMALIAS	Comunicação com o operador do equipamento.	Funcional
	Armazenamento de informação de causas introduzidas pelo usuário.	Funcional
ESTABELECIMENTO DE PLANOS DE MELHORIA	Capacidade de comparação dos valores calculados com valores padrão do OEE e seus componentes.	Funcional
	Geração de planos, ou sugestões de melhoria, refletindo o resultado das comparações realizadas.	Funcional
	Definição de ordens de produção, por turno.	Não Funcional

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

3.6 MÉTODO IMPLANTACAO DO TMA

Para a aplicação do TMA neste estudo de caso, será utilizado o método DMAIC sugerido por: (ECKES, 2001; NAVE, 2002; PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2007; SNEE; HOERL, 2005). Este método consiste basicamente em uma sequência estruturada de cinco etapas que serão descritas a seguir e mostrado na Figura 11.

Figura 11 – Fluxo de aplicação método DMAIC do Seis Sigma.

Fonte: (SETEC, 2006)

3.6.1 Etapa Definir

Esta primeira etapa do DMAIC consiste em selecionar os projetos Seis Sigma que apresentam potencial para melhoria de desempenho. Nessa fase serão determinadas as métricas, selecionadas e treinadas pessoas para desenvolver os projetos que apresentarem o melhor retorno financeiro para a empresa. A identificação de projetos Seis Sigma permitirá à organização reconhecer como os seus processos afetam a lucratividade. Possibilitará ainda definir quais desses processos são críticos para o negócio da empresa e para a satisfação do cliente. A preparação desta fase deve incluir o treinamento e orientação dos empregados para o uso das técnicas e ferramentas que poderão ser utilizadas pelo grupo que irá conduzir o projeto. (TOBERGTE; CURTIS, 2013) propõe que nesta etapa sejam respondidas as seguintes questões:

- Qual é o problema – um resultado indesejável ou uma oportunidade de melhoria detectada – a ser abordado no projeto?
- Qual é a meta que se deseja atingir?
- Quais são os clientes e consumidores afetados pelo problema?
- Qual é o processo responsável pelo problema?
- Quais os custos e benefícios financeiros que poderão resultar do projeto de melhoria?

Para (CORONADO; ANTONY, 2002), o projeto selecionado deverá ajudar a empresa a reduzir o tempo de ciclo do produto e aumentar o rendimento do processo melhorando, assim, a vantagem competitiva e a lucratividade do negócio. Conforme (HARRY, 2000) o projeto pode ser sugerido pela área de produção (*top down*) ou definido pela alta administração (*bottom up*) e proposto segundo os seguintes critérios: redução de custos, nível de dpmo/ppm do processo, custo da má qualidade, capacidade do processo, tempo de ciclo do produto, satisfação do cliente e desempenho interno. De acordo com (LYNCH; BERTOLINO; CLOUTIER, 2003), os propósitos da etapa Definir são:

- Ter um claro entendimento para discussão do problema;
- Identificar as variáveis de entrada e saída do processo;
- Verificar responsabilidades, etapas do processo e estabelecer objetivos;
- Organizar o grupo de trabalho;

- Obter um entendimento do mérito do projeto;
- Definir bem o enunciado do problema, entender o que será melhorado e como será medido;
- Listar os processos e produtos;
- Levantar dados históricos do processo;
- Mapear o processo e delimitar o escopo do projeto de melhoria;
- Confeccionar a carta do projeto;
- Fazer um cronograma para o projeto.

3.6.2 Etapa Medir

Para (LYNCH; BERTOLINO; CLOUTIER, 2003), esta etapa abrange ações relacionadas à mensuração do desempenho dos processos e a determinação da variabilidade dos mesmos, sendo necessário cumprir os seguintes propósitos e objetivos:

- Documentar o processo existente, por exemplo, através do mapeamento do processo;
- Estabelecer as técnicas para coleta de dados, o que coletar, onde e como coletar;
- Coletar os dados necessários para a análise;
- Verificar se o sistema de medição é adequado;
- Estabelecer a situação atual das características de qualidade e das variáveis do processo.
- Fazer estudo de capacidade e determinar o nível sigma do processo;
- Apresentar os dados graficamente.

3.6.3 Etapa Analisar

(LYNCH; BERTOLINO; CLOUTIER, 2003) descrevem os propósitos e objetivos que devem ser alcançados nesta etapa:

- Estreitar o foco do projeto para reunir informações da situação atual;
- Descobrir as fontes potenciais de variação, através do entendimento da relação existente entre as variáveis X e Y;

- Reduzir o número de variáveis de processo que serão aprimoradas na etapa de melhoria;
- Identificar e controlar o risco das variáveis de entrada;
- Realizar análises estatísticas e testes de significância nas variáveis X e Y, utilizando estatística descritiva, ANOVA e análise de regressão.

3.6.4 Etapa Melhorar

Segundo Werkema (2003), nessa etapa devem ser geradas idéias sobre soluções potenciais para eliminação das causas fundamentais dos problemas priorizados na etapa de análise. A equipe do projeto confirma as variáveis-chave, quantifica os seus efeitos nas características de qualidade e define a melhor solução para reduzir significativamente o nível de defeitos.

De acordo com Eckes (2001), as soluções geradas e implementadas devem procurar a eliminação da causa do problema neutralizar ou minimizar seus efeitos. Depois do processo modificado e testado são determinados prazos para a revisão dos procedimentos de produção visando atender as expectativas do cliente.

As ferramentas estatísticas relevantes utilizadas nesta fase são: o *brainstorming*, o 5W2H, a matriz de priorização, FMEA, operação evolutiva (EVOP), que permitem identificar e implementar melhorias ou ajustes para as soluções selecionadas. As principais atividades desenvolvidas são: gerar idéias de soluções potenciais para a eliminação das causas fundamentais dos problemas; priorizar as soluções; avaliar os riscos destas soluções e se possível realizar testes das soluções em pequena escala; identificar e implementar melhorias ou ajustes nas soluções implantadas e elaborar e executar um plano de ação para a implementação das soluções em larga escala (WERKEMA, 2003).

3.6.5 Etapa Controlar

Uma vez que a melhoria desejada tenha sido implementada, algum tipo de sistema tem de ser usado para manter a melhoria alcançada dentro do intervalo de tolerância aceitável. Nesta etapa são implementados os mecanismos necessários para monitorar continuamente o desempenho de cada processo, com o objetivo de garantir a sustentação das melhorias ao longo do tempo. Entre as técnicas

adotadas, destacam-se as seguintes: o controle estatístico de processo, a padronização dos procedimentos que obtiveram êxito, os planos de controle, os testes de confiabilidade e os processos à prova de erros (ECKES, 2001).

Segundo Lynch, Bertolino e Cloutier (2003), nessa etapa também são adotadas medidas de prevenção de erros, para detectar rapidamente um estado fora de controle e determinar as causas associadas, visando à tomada de ações antes que produtos defeituosos sejam produzidos. As principais atividades da etapa Controlar podem ser sumarizadas como segue:

- Confirmação da melhoria implantada;
- Confirmação de que o problema foi resolvido;
- Validação dos benefícios auferidos pela melhoria;
- Alterações necessárias nos procedimentos e instruções de trabalho;
- Implementação de ferramentas de controle onde necessário, tais como dispositivos à prova de erro, CEP, etc.;
- Auditoria do processo, monitoramento do desempenho e das métricas.

O método de implantação do TMA está então descrito de acordo com as etapas do DMAIC, o próximo passo será abordar o estudo de caso em uma empresa do setor alimentício.

4 ESTUDO DE CASO

Nesse capítulo são apresentadas as características do setor de alimentício, a empresa estudo de caso, questão de confidencialidade das informações, a construção do TMA, os procedimentos de ajuste do TMA teórico à empresa estudo de caso, a aplicação do TMA na empresa, resultados obtidos e a avaliação do TMA.

4.1 SETOR ALIMENTÍCIO

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Alimentos, (ABIA, 2019). A indústria de alimentos é a maior do País. Ela processa 58% de tudo o que é produzido no campo, reúne mais de 37 mil indústrias que geram 1,6 milhão de empregos – diretos e formais. No ano de 2018 foram gerados 16 mil novos postos de trabalho e, em relação ao ano de 2016 foram criadas 55 mil vagas, o que demonstra o compromisso do setor e sua importância para o Brasil. Os alimentos brasileiros chegam a mais de 180 países, tornando o Brasil o segundo maior exportador de alimentos industrializados do mundo.

4.2 EMPRESA ESTUDO DE CASO

A empresa pesquisada produz concentrados em pó para a produção de bebidas não alcoólicas no estado de São Paulo. Seus clientes utilizam estes concentrados em pó na produção de seus produtos finais, que são compostos por uma parte do líquido e outra parte de concentrado em pó, denominado de parte sólida. Esses ingredientes são adicionados ao xarope final e dióxido de carbono para produzir uma bebida gaseificada, que é engarrafada e distribuída aos consumidores.

4.3 ACORDO DE NÃO DIVULGAÇÃO

Antes de abordar os resultados desta pesquisa, cabe salientar a questão do sigilo das informações inerentes nesta dissertação. Em cumprimento ao requisito ético de proteção às informações coletadas neste trabalho, informa-se que antes de iniciar a coleta dos dados, o autor precisou assinar um NDA “*Non Disclosure Agreement*” junto à área jurídica da empresa objeto de estudo. NDA trata-se de um

acordo de não divulgação, ANEXO A, pois a empresa exige que seu nome não seja revelado, pois as informações contidas na pesquisa, se referenciadas de forma direta com a empresa, podem causar eventual prejuízo de alguma natureza perante o mercado, seus acionistas, bem como para os seus gestores. Sendo assim, o nome da empresa e maiores detalhes que possam identificá-la foram suprimidos neste trabalho, ou seja, foi dado foco maior aos dados e resultados obtidos do que nos planos de melhoria desenvolvidos para sanar as ineficiências encontradas.

4.4 CONSTRUÇÃO DO TMA

Para o primeiro nível do conceito *Industrial Machines* é importante referir que a única restrição que devem ter, é o uso de sensores e atuadores. Os PLCs e as máquinas industriais normalmente usadas em ambiente industrial possuem este tipo de dispositivos, logo não é necessária nenhuma alteração aos mesmos para que a informação possa ser obtida.

No segundo nível da estrutura do sistema conceitual, *TMA Device*, e segundo a informação obtida da análise funcional e de requisitos, é necessário que o equipamento usado possa captar várias entradas e saídas digitais, assim como processar a informação obtida para envio ao nível superior. Os equipamentos mais indicados para este tipo de abordagem serão os *Advantech WISE-4050*.

O terceiro módulo do conceito, *TMA Management Center*, além de ser uma unidade com capacidade de processamento de um grande volume de dados, é constituído pelo *data storage center* e do *user interface*. Definiu-se a utilização de uma aplicação nativa do sistema operativo Android pelas suas qualidades de interação com o usuário e capacidade de processamento, já que é necessário um processamento no menor tempo possível. Juntamente com a aplicação será necessário o uso de uma base de dados relacional para o *data storage center* que, por melhor desempenho em operações de complexidade elevada, foi definida como sendo uma base de dados construída usando o sistema de gestão PostgreSQL.

4.4.1 Construção do TMA Device

O *Advantech WISE-4050* é um dispositivo que engloba todas as funcionalidades relacionadas no ANEXO E. Este dispositivo possui a capacidade

requerida para o projeto, pois possui capacidade de processamento de um enorme volume de dados, meios de conexão com outros dispositivos e *inputs* e *outputs* para captação de sinais externos. Para este efeito observaram-se três opções, conforme indicado no Quadro 14, a seguir:

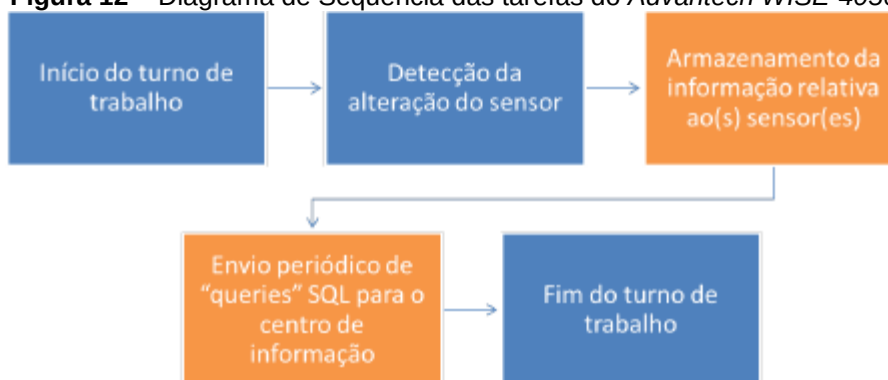
Quadro 14 – Características dos equipamentos considerados para o TMA Device.

ADVANTECH WISE 4050	RASPBERRY PI	ARDUÍNO UNO
WLAN IEEE 802.11b / g / n de 2,4 GHz	Conectividade Raspberry Pi, compatível com Raspberry Pi 2B / 3B / 3B + / Zero / Zero W	Processador ATmega 328
Entrada de 2 canais 0 ~ 10V, DI de 2 canais e Saída de relé de 2 canais	Suporta SMS, telefonema, GPRS, DTMF, HTTP, FTP, MMS, email, etc.	Frequência de Processamento 16 MHz
Inclui WebAccess com projeto demo para desenvolvedor	Suporte GPS, COMPASS, Glonass, posicionamento da estação base LBS, omni-posicionamento	RAM 2 KB
Inclui placa de extensão para simular o status do sensor	Bluetooth 3.0, suporta transferência de dados através de Bluetooth	Flash Memory 32 KB
Inclui cabo micro USB para entrada de energia	Conversor USB TO UART integrado CP2102 para depuração UART	Input Voltage 7-12
Suporta Modbus / TCP com serviço da web RESTful, MQTT	6x LEDs para indicar o status de funcionamento do módulo	Digital GPIO* 14
Suporta modo cliente e servidor sem fio que pode ser acessado diretamente sem AP ou roteador	Slot para cartão SIM para cartão SIM de 1,8V / 3V	Entradas Analógicas 6
Oferece suporte à configuração da Web de dispositivos móveis com HTML5 sem a limitação da plataforma	RTC com suporte de bateria reserva	Ethernet - 10/100
Suporta armazenamento em nuvem baseado em arquivo e log local com registro de data e hora	Detecção automática de Baudrate (1200bps ~ 115200bps)	USB
	Controle via comandos AT (comandos AT 3GPP TS 27.007, 27.005 e SIMCOM aprimorados)	Vídeo - HDMI

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Segundo as características apresentadas no Quadro 14 o TMA Device mais indicado para o projeto será o *Advantech WISE-4050*, devido à sua capacidade de processamento e quantidade de entradas digitais que possui. Estas características atribuem-lhe uma versatilidade acima de outros equipamentos, para aplicação em diversas configurações de equipamentos industriais.

Destaca-se a capacidade de processamento do *Advantech WISE-4050* sendo mais rápido em termos de processamento do que o seu oponente direto *Raspberry PI*. Destaca-se ainda, as características indicadas em negrito no Quadro 14, que são convergentes com os requisitos apontados no ANEXO E. A implementação deste módulo da plataforma terá de, no final, conseguir executar estas várias etapas do diagrama de sequência apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Diagrama de Sequência das tarefas do *Advantech WISE-4050*.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Para cumprir os objetivos do diagrama acima foi realizada a instalação do *hardware* do TMA Device. Na Tabela 5 é apresentada a relação dos materiais utilizados na construção da parte física, ou seja, do *hardware* envolvido no *Template* de Manufatura Avançada:

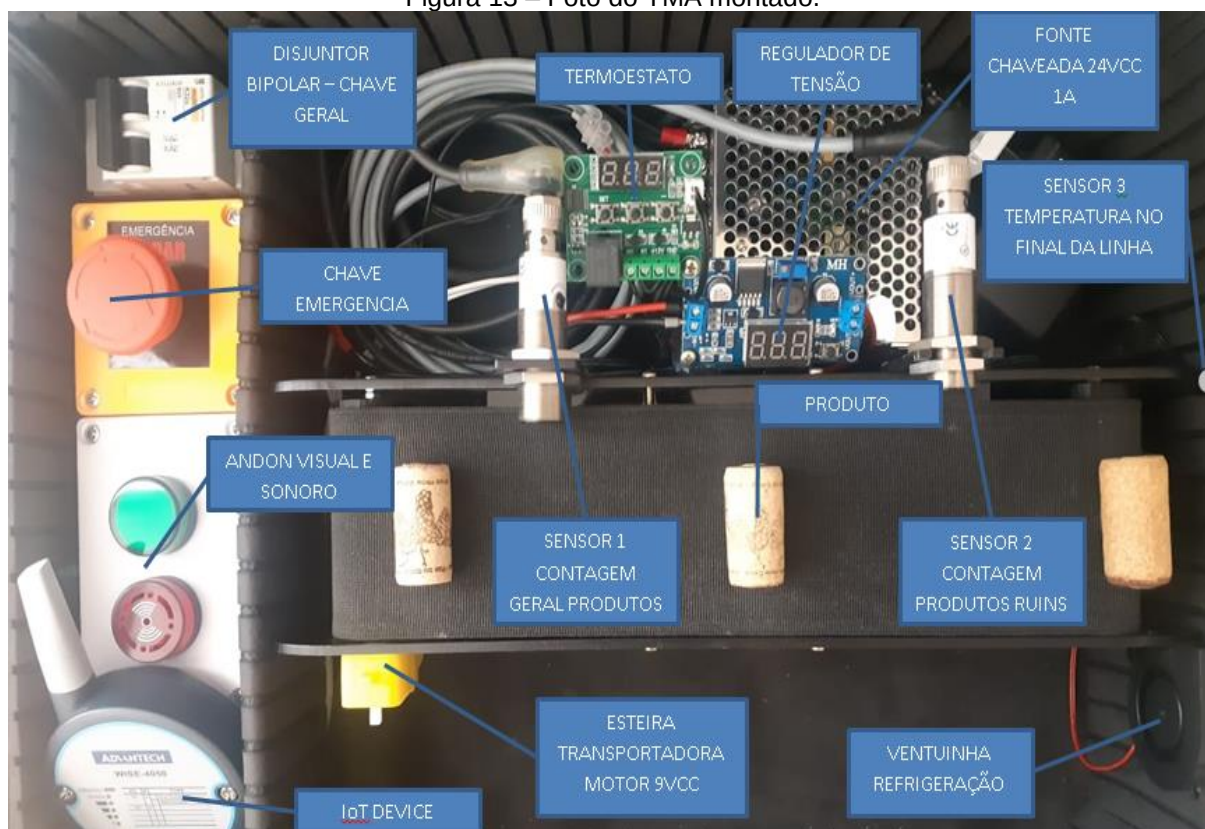
Tabela 5 – Relação dos materiais utilizados no TMA.

Item	Descrição	Quantidade
1	Maleta para acomodação do template	1
2	Fonte de Alimentação 24vcc – chaveada	1
3	Disjuntor bipolar – chave geral	1
4	Chave de emergência – STOP	1
5	Dispositivo <i>IoT Advantech – WISE-4050</i>	1
6	Esteira Transportadora – motor 9Vcc	1
7	Sensor Industrial para coleta dos dados – Marca <i>Balluff</i>	2
8	Sensor de temperatura	1
9	Regulador de tensão variável 0 Vcc á 24 Vcc	1
10	Controlador de temperatura - termostato	1
11	Ventuinha para refrigeração do sistema	1
12	Cabeamento	2

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Figura 13, pode-se observar a foto do TMA já construído com todas as suas partes identificadas: disjuntor geral (bipolar), termostato, regulador de tensão, fonte chaveada 24Vcc, chave de emergência, sensor de temperatura no final da linha, Andon visual e sonoro, sensor de contagem geral de produtos, produtos, sensor de contagem de produtos ruins, *IoT device*, esteira transportadora e ventoinha para refrigeração/controle de temperatura no final da linha.

Figura 13 – Foto do TMA montado.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Instalação Elétrica do TMA

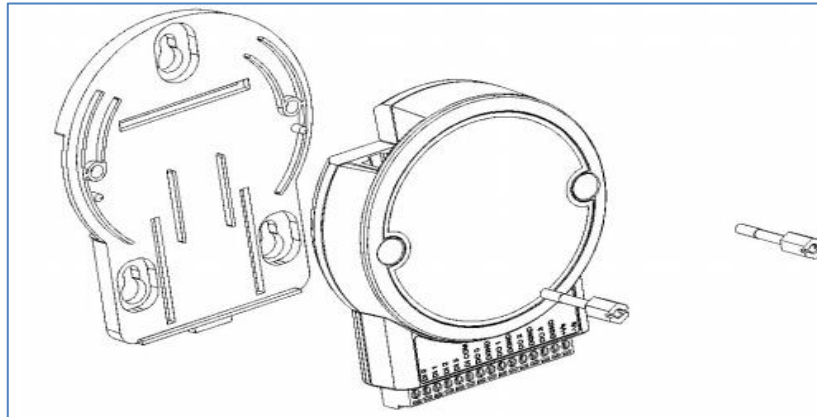
A Instalação elétrica completa do TMA compreende na execução dos seguintes passos:

1. Instalação de um disjuntor bipolar, chave geral, para prover segurança elétrica para todo o sistema;
2. Instalação da fonte de alimentação: conexão da fonte chaveada na maleta; conexão com a rede de corrente alternada 110/220Vca. Desta forma disponibilizando 24Vcc na maleta, afim de energizar/alimentar os dispositivos do projeto;
3. Instalação da chave de emergência: A chave de emergência tem a finalidade de interromper a esteira transportadora em casos necessidade de uma parada urgente;
4. Instalação da esteira transportadora: Energização da Esteira Transportadora para simular um processo de produção industrial contínuo (processo discreto); nesta instalação é necessária a adequação de voltagem entre fonte de alimentação e voltagem de trabalho do motor da

esteira, para isso foi utilizado um regulador de tensão; Nesta etapa a esteira pode ser substituída por qualquer outro tipo de máquina ou equipamento a ser monitorado pelo TMA, no caso desta pesquisa foi instalado na enchedora Klockner.

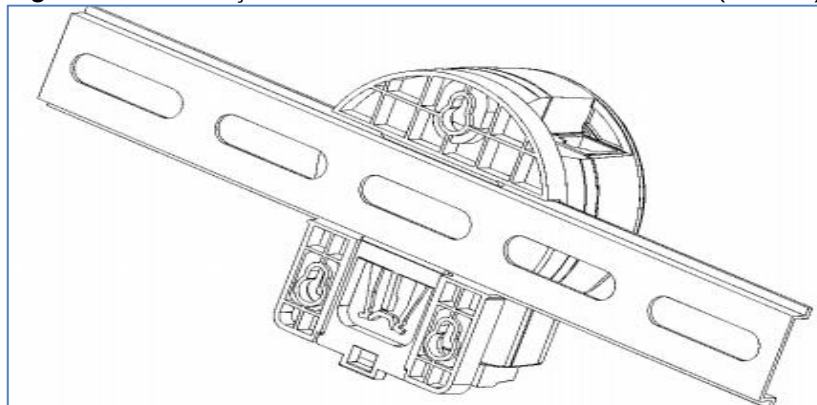
5. Instalação do regulador de tensão: O regulador de tensão tem a finalidade de reduzir a tensão de 24Vcc para 9Vcc, que é a tensão de trabalho do motor da esteira transportadora, esta tensão deverá ser adequada a necessidade de energia dos dispositivos utilizados, pois nem todos operam na mesma voltagem da fonte principal, 24Vcc;
6. Instalação do Andon: O Andon com função luminosa e sonora, tem a finalidade de mostrar através de um relê simples (24Vcc) se a linha esta operando ou não, ou seja, com o motor da esteira energizado, a lâmpada verde permanece acesa indicando o funcionamento normal da linha de produção, na interrupção da linha, ou seja, falta de energia nos terminais elétricos do motor, o Andon irá disparar um sinal sonoro (sirene) bem como um sinal visual (luz vermelha) indicando problema na linha/linha parada;
7. Instalação do termostato: Esse sistema trabalha com um sensor instalado no final da linha de produção, que afere a temperatura, transmitindo sinal para placa controladora do termostato que possui um alvo programado para o controle da temperatura do ambiente de produção, uma vez, que a temperatura no final da linha esteja fora dos limites de controle do alvo. O termostato aciona o relê que está conectado com a ventuínha para iniciar o processo de refrigeração do sistema. Este item é opcional, somente é utilizado quando o processo requer controle de temperatura;
8. Montagem em trilho DIN: O módulo WISE-4050 *Advantech* também pode ser fixado ao gabinete usando trilhos de montagem. É necessário montar o adaptador de trilho de fixação no módulo WISE-4050 *Advantech* com parafuso de cabeça chata driver como indicado nas Figura 14 e Figura 15.

Figura 14 – Instalação do Advantech WISE-4050 trilho DIN (frontal).



Fonte: <http://www.comunica.se/advantech/UM-WISE-4000.PDF>

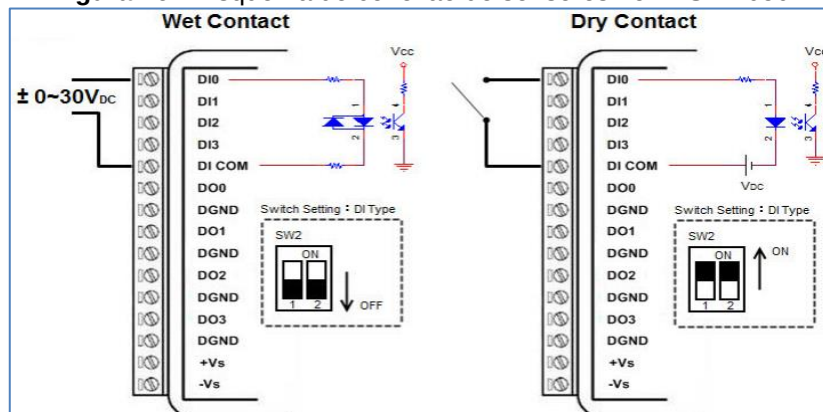
Figura 15 – Instalação do Advantech WISE-4050 trilho DIN (traseira).



Fonte: <http://www.comunica.se/advantech/UM-WISE-4000.PDF>

9. Instalação dos sensores S1 e S2: A instalação dos sensores seguirá o esquema para sua energização e a devida forma de acoplamento ao dispositivo *IoT WISE-4050 Advantech*, para captação dos sinais digitais e/ou analógicos na esteira transportadora. O esquema de conexão dos sensores no WISE-4050 é apresentado na Figura 16.

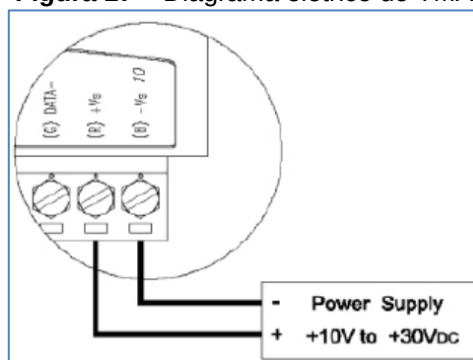
Figura 16 – Esquema de conexão de sensores no WISE-4050.



Fonte: Manual Advantech Wise, 2020.

10. Como mostrado na Figura 17 a ligação da fiação da fonte de alimentação do WISE-4050 *Advantech* foi projetada para um padrão industrial de 24 VCC. Para aplicação adicional, também pode aceitar +10 a +30 VDC com 200mV pico a pico de ondulação de energia, sendo que a tensão de ondulação imediata deve ser mantida entre +10 e +30 VCC. Terminais de parafuso + Vs e -Vs são para a fixação da fiação da fonte de alimentação.

Figura 17 – Diagrama elétrico do TMA.

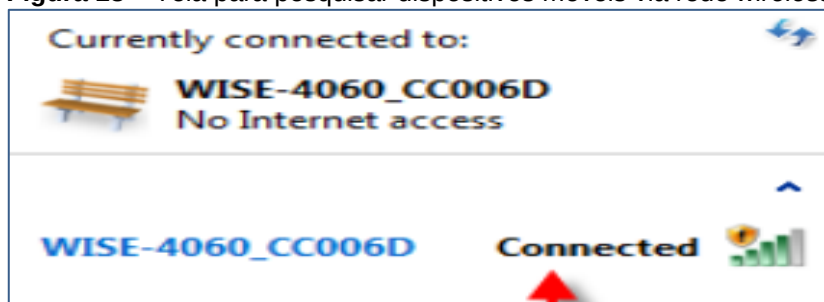


Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

4.4.1.1 Configuração do Client Advantech WISE-4050

Para a série sem fio WISE-4050 *Advantech*, o modo de operação padrão no modo normal é Modo AP (*Access Point*), ou pode-se alterar a posição 1 de SW1 para OFF, localizado na parte traseira do WISE-4050, para configurar o módulo como Modo Inicial, então o módulo deve ser o Modo AP. Agora, o módulo pode ser pesquisado por dispositivos móveis ou adaptador sem fio do computador com SSID: WISE-4xxx_MACAddress. Clique no SSID para conectar o módulo no AP Modo, o módulo WISE atribuirá automaticamente o endereço IP para dispositivos móveis ou computadores, conforme indicado na Figura 18:

Figura 18 – Tela para pesquisar dispositivos móveis via rede *wireless*.



Fonte: <http://www.comunica.se/advantech/UM-WISE-4000.PDF>

Abra o browser, (Recomenda-se utilizar o Google Chrome) e entre na página de configuração URL: <http://192.168.1.1/config>. Em seguida faça o *login* com o usuário da conta: *root*, e a senha: 000000, (oito vezes o número zero), conforme ilustrado na Figura 19:

Figura 19 – Tela de *login* de acesso do WISE-4050.

Fonte: <http://www.comunica.se/advantech/UM-WISE-4000.PDF>

Após acessar o configurador do WISE-4050 com o usuário e senha indicados na Figura 19, o usuário deverá acessar a opção *Wireless* e configurar a rede *Wireless* pela qual o dispositivo WISE-4050 fará o acesso a *Internet* ou *Internet Industrial* se estiver disponível, deverá ser informado nesta tela o modo de acesso WLAN, como *Infrastructure Mode*, bem como o nome da Rede Wifi ou *Access Point* disponível para acesso a *Internet* e sua respectiva senha (*security key*), conforme apresentado na Figura 20:

Figura 20 – Tela de configuração *wireless* do WISE-4050.

Fonte: <http://www.comunica.se/advantech/UM-WISE-4000.PDF>

Após configurar o acesso à rede *wireless* do WISE-4050, como foi indicado na figura anterior, o usuário deverá acessar a opção *Cloud* e configurar o acesso pela opção de serviço: *iSensing MQTT*, informar o MQTT *host name*, campo *Server*, informar *Port Number*, *User Name* e *Password* conforme as informações configuradas no CloudMQTT, verificar a Figura 25 e transferir as informações para os campos indicados na Figura 21. Ao finalizar a configuração da pasta *Cloud* do WISE-4050, o campo *Connection Status* da conexão deverá estar com o *status: running*.

Figura 21 – Tela de configuração *cloud* do WISE-4050.

Fonte: <http://www.comunica.se/advantech/UM-WISE-4000.PDF>

Neste ponto toda a comunicação desde os sensores até a *Cloud*, bem como a plataforma *web* estará operacional, restando apenas ativar mais uma configuração final no WISE-4050. Ative a função *push* do módulo WISE, conforme mostrado na Figura 22:

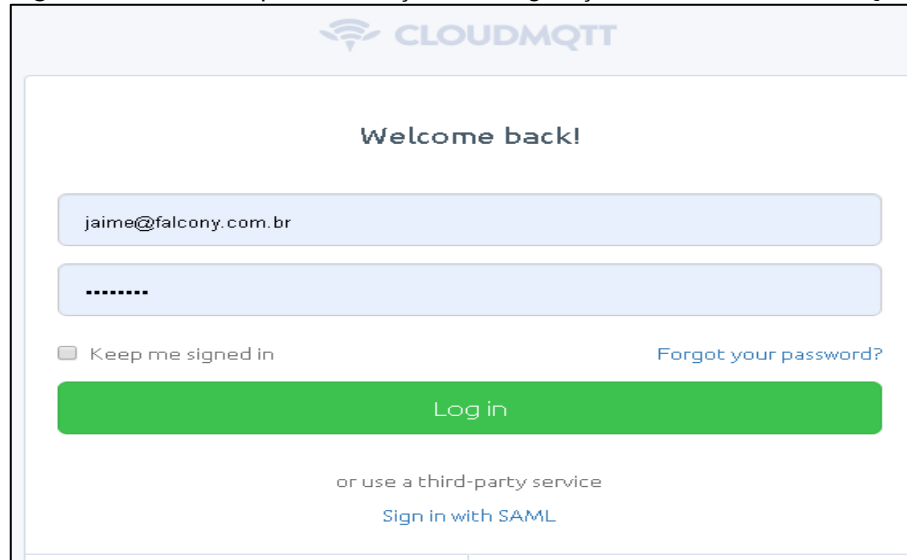
Figura 22 – Tela de ativação da função *PUSH* no módulo WISE-4050.

Fonte: <http://www.comunica.se/advantech/UM-WISE-4000.PDF>

4.4.1.2 Instalação Broker Server MQTT – mosquitto

Instalação do *Broker Server MQTT*: Será feita através da ferramenta disponível na *Internet* no endereço <https://customer.cloudmqtt.com/login>, conforme mostra a Figura 23.

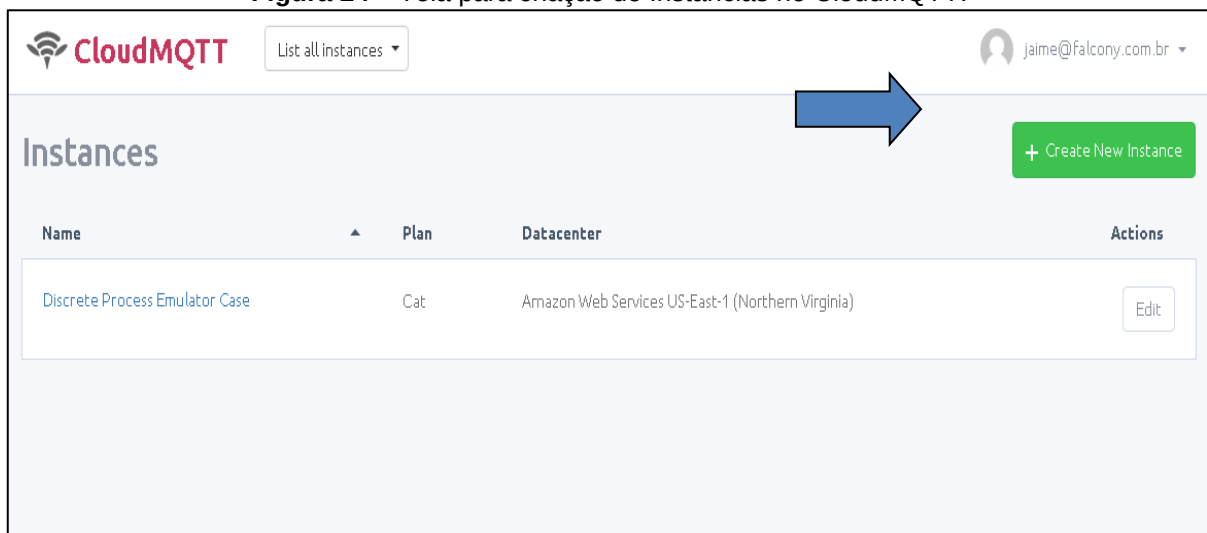
Figura 23 – Website para instalação e configuração do *Broker Server MQTT*.



Fonte: <https://customer.cloudmqtt.com/login>

Neste endereço cria-se uma conta de usuário, e em seguida, será necessário criar uma instância de trabalho pela opção *Create New Instance*, por exemplo, *Discrete Process Emulator Case*, conforme mostra a Figura 24.

Figura 24 – Tela para criação de Instâncias no CloudMQTT.



Name	Plan	Datacenter	Actions
Discrete Process Emulator Case	Cat	Amazon Web Services US-East-1 (Northern Virginia)	Edit

Fonte: <https://customer.cloudmqtt.com/instance>

Após a instalação da nova instância, conforme mostrado na etapa anterior, basta clicar sobre o ícone com o nome da instância criada, e irá ser apresentada uma tela onde serão exibidos alguns dados importantes para configuração no *IoT device Wise Advantech*, são eles: *User*, *Password* e *Port*, *Websocket UI*, *Statistics*, *Connections* e *Log*; conforme mostra a Figura 25.



Fonte: <https://api.cloudmqtt.com/console/82652170/details>

É importante conferir se o serviço MQTT está funcionando corretamente, essa verificação pode ser feita através da opção *websocket UI*, ou também se preferir através da opção *Log* ou *Statistics*, pode-se verificar o funcionamento do serviço, conforme mostra a Figura 26:



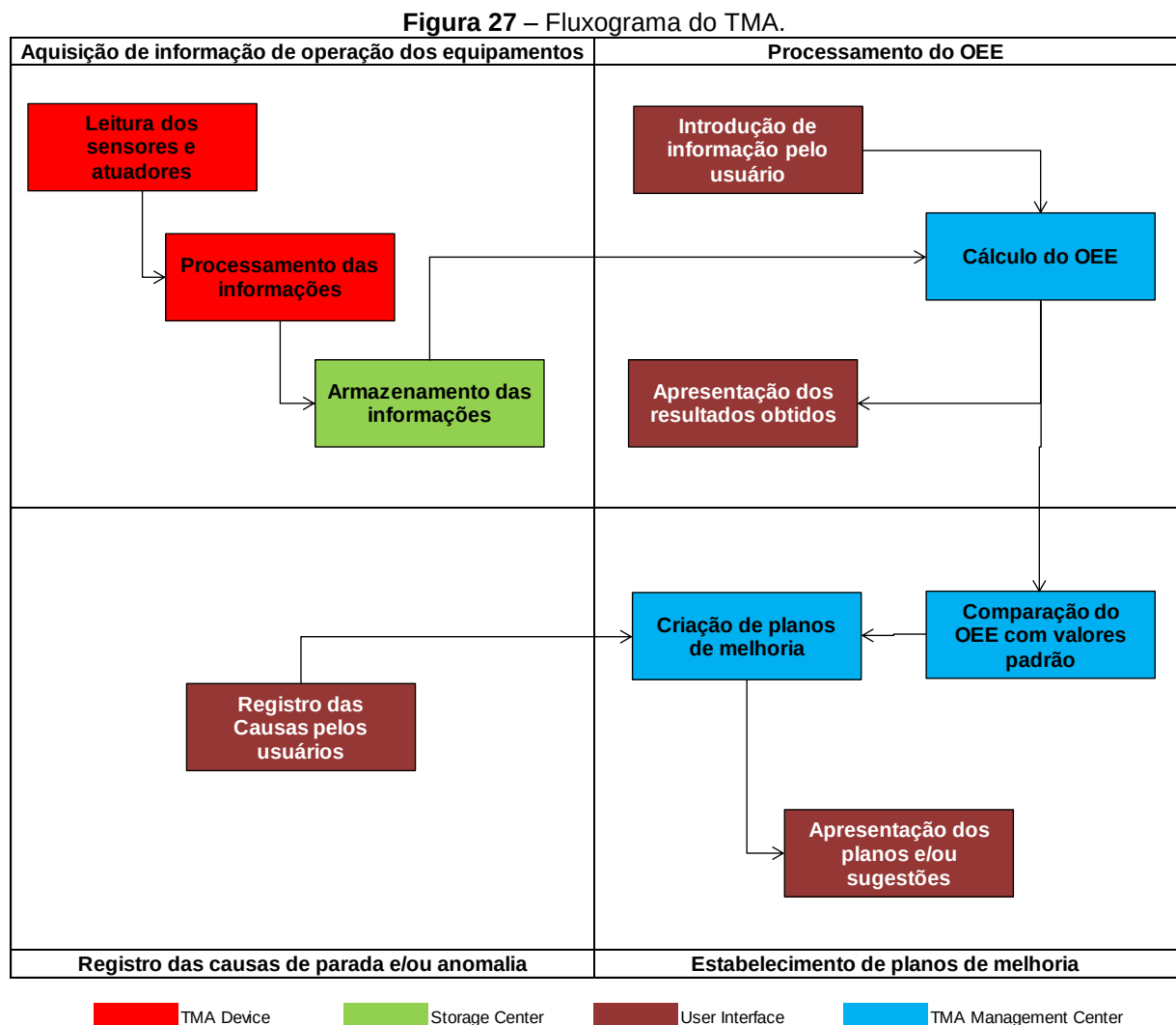
Fonte: <https://api.cloudmqtt.com/console/82652170/websocket>

A implementação do hardware associado aos equipamentos industriais e ao Advantech WISE-4050 está então descrita, o próximo passo será explicar a

implementação do último, e mais complexo, módulo da estrutura do conceito, o TMA *management center* e seus componentes.

4.4.2 Construção do TMA Management Center

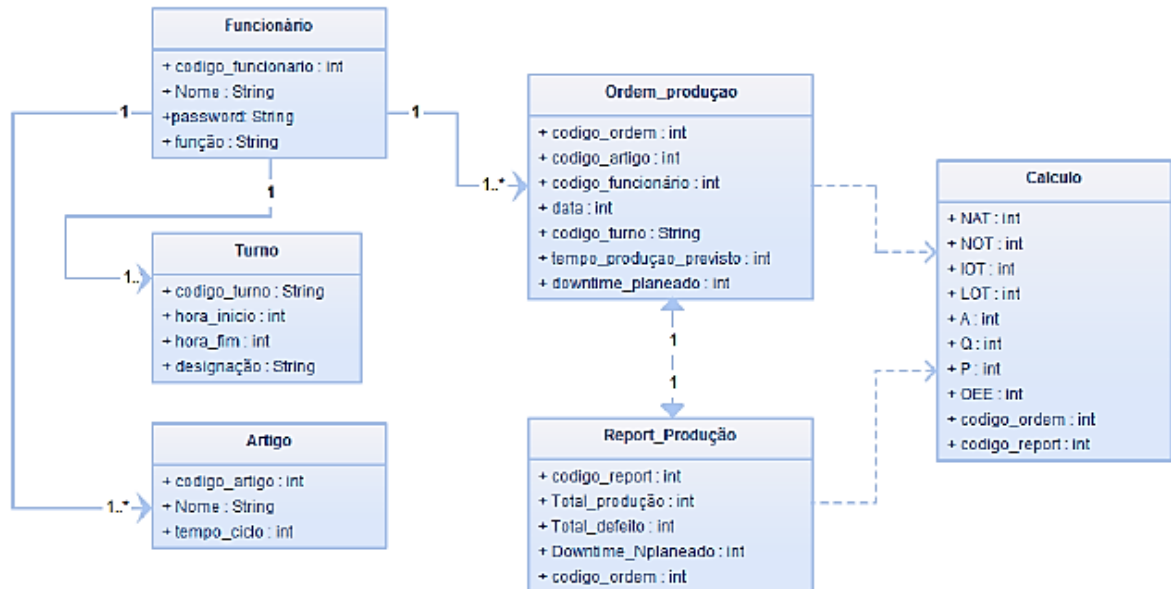
Na Figura 27 é possível perceber o papel desempenhado por cada um dos patamares do conceito. Através da divisão por cores, é observável que os *TMA devices* estão intimamente ligados à interação com os equipamentos industriais, que todos os cálculos são desenvolvidos no *TMA management center* e que todas as interações com o usuário são feitas usando a *User interface*. A existência de níveis separados para os *TMA devices* e para o *TMA management center* é necessária para que toda a informação originada na planta industrial possa ser centralizada e facilmente acessada.



4.4.2.1 Base de Dados

A base de dados usada para armazenamento de todas as informações do sistema tem alguns pré-requisitos para que o sistema possa funcionar de maneira adequada. Como é apresentado o modelo relacional na Figura 28.

Figura 28 – Modelo relacional da base de dados implementada.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Para a criação da base de dados do sistema será necessária à execução do *script* apresentado no ANEXO G. Esta base de dados foi pensada de modo que o sistema possa desempenhar as suas funções de forma autônoma após a introdução dos dados de produção. A entidade “funcionário” fará a gestão das entidades “turno”, “artigo” e “ordem_produção”, sendo necessário que esteja registrado na base de dados como funcionário de função “gestor”. A entidade “report_produção” será criada pelo *Advantech WISE-4050* onde devem estar presentes informações como, qual a ordem de produção a ser fabricada e um código da versão do report para uma melhor organização da evolução dos parâmetros captados do equipamento industrial. Esta informação estará incluída no “codigo_report” da seguinte forma: O *codigo_report* deve ser escrito sob a forma: *codigoBBB-data-hora-versao_report*.

Por fim, a entidade “Calculo” será onde serão armazenados os valores resultantes do processo de cálculo da eficiência, terá como chaves primárias o atributo “codigo_report” exportado da entidade “report_produção” e o atributo “OEE”.

Desta forma será possível usar o código de versões do “report_produção” para estabelecer uma evolução cronológica do OEE.

4.4.2.2 Aplicativo Android

As funcionalidades do sistema operacional Android são conhecidas e possibilitam o seu uso tanto em ambientes domésticos como industriais. Para o último módulo da estrutura será necessário implementar todas as funcionalidades presentes no ANEXO E. Na Figura 29 são apresentadas essas funcionalidades.

Figura 29 – Funcionalidades da aplicação Android a implementar.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Como pode ser observado, a aplicação Android será o cérebro de todas as operações do TMA *Management Center*. Em seguida são explicadas as funcionalidades presentes na Figura 29.

4.4.2.3 Registo das causas de parada ou anomalia

Esta componente da aplicação dedica-se exclusivamente à recepção de motivos para o *downtime* não planejado ocorrido durante um turno de trabalho. Após a captação de toda a informação do equipamento industrial ao fim de um turno, o “funcionário” incumbido do mesmo, terá a responsabilidade de introduzir no sistema as causas para o tempo de produção efetivo não ter sido devidamente aproveitado. Este registo possibilitará ao sistema complementar os relatórios de melhoria com mais informação proveniente do operário.

4.4.2.4 Gestão de turnos e encomendas

Para que todo o sistema funcione de maneira autónoma é necessário que seja introduzido neste uma série de valores para que possa ser calculada a

eficiência dos equipamentos. A esta interação com o sistema chamou-se “Gestão de turnos e encomendas”, onde todos os artigos a produzir e turnos existentes fazem parte de ordens de produção a serem criadas, contendo todas as informações desde, tempos de ciclo, a tempo previsto de produção, etc.

A gestão de turnos e encomendas deve, então, salvaguardar os seguintes casos de uso:

- Autenticação do funcionário;
- Possibilidade dos funcionários com função de “gestor” de:
 - Introdução no sistema dos artigos a produzir, bem como os seus valores de referência;
 - Introdução no sistema da lista de turnos existentes;
 - Criação das ordens de produção e distribuição das mesmas pelos turnos existentes, especificando o tempo previsto de produção e o Downtime Planeado.

Se o tempo de produção prevista exceder o tempo de turno o programa deve acrescentar ordem(s) ao(s) turno(s) subsequentes de forma a ser possível concretizar a ordem em plano.

- Os funcionários com função de “operador” devem conseguir:
 - Consultar a ordem de produção para o turno que lhes está atribuído (artigo a produzir, tempo de turno previsto, tempo de ciclo, Downtime Planeado);
 - Consultar os seus índices de Eficiência e tempo.

Associado a estes casos de uso está o seguinte diagrama de classes que define as funções a serem criadas no programa.

4.4.2.5 Cálculo do OEE

Esta funcionalidade do programa deve ser implementada de forma a que, o sistema seja capaz de extrair da base de dados os valores necessários para o cálculo de todos os parâmetros de eficiência considerados (NAT, NOT, IOT, LOT, A, P, Q e OEE), seguindo o diagrama de classes imediatamente apresentado.

4.4.2.6 Apresentação dos Resultados

O sistema deverá ser capaz de apresentar o OEE e a sua evolução temporal, segundo os critérios definidos pelo utilizador. É importante salientar que devido à rápida execução das queries e rápido processamento da informação contida nestas, os resultados ajudam a uma reação imediata a qualquer problema que aconteça na linha de produção, os planos de melhoria a seguir contemplados, servem como sugestões para processos que tenham problemas de fundo e que se reflitam, tanto a curto como a médio/longo prazo. A evolução da eficiência é, então, vital para intervenções rápidas nos processos sem necessidade de espera pelos planos de melhoria.

4.4.2.7 Construção de planos de melhoria

A construção de planos de melhorias será uma funcionalidade que deve ocorrer automaticamente no sistema assim que for solicitado. Para que seja cumprido o objetivo da funcionalidade a aplicação deve comparar os valores calculados do OEE e seus componentes com os valores padrão estabelecidos. Caso os valores sejam muito divergentes dos valores padrão de eficiência determinados como meta, o sistema deve informar quais os parâmetros cuja *performance* não é a esperada e aconselhar a revisão do processo industrial com base nestes parâmetros, como por exemplo, “A Disponibilidade do equipamento está abaixo do esperado, é necessário rever o *Downtime* não planejado”. Cumprindo esta funcionalidade a aplicação *Android* deverá, face aos cálculos de eficiência executados, ser capaz de formular e apresentar planos de melhoria ou sugestões ao usuário.

4.4.2.8 Interface da aplicação Android

A *interface* tem como objetivo principal apresentar informação ao usuário. O seu aspecto foi desenvolvido de forma a que a curva de aprendizagem da aplicação praticamente não existisse, pois é simples e intuitiva. Todos os elementos presentes na *interface* fornecem ao usuário um acesso fácil à informação, para que as

decisões possam ser tomadas de uma forma célere. As interfaces desenhadas encontram-se no ANEXO H.

O desenvolvimento do software associado aos equipamentos industriais e ao *Advantech WISE-4050* está então descrito, o próximo passo será explicar o método de uso e configuração deste software, denominado de *TMA Management Center*.

4.4.3 Configuração do TMA Management Center

O TMA foi pré-configurado com mensagens de exibição visual para operação de fábrica pronta para uso. Essas mensagens podem ser editadas ou totalmente novas podem ser criadas. Este procedimento passo a passo descreve como foram criadas as métricas no TMA usando o exemplo mostrado abaixo.

4.4.3.1 Criando telas de métricas

Faça *login* e navegue até a página de mensagens:

1. Faça *login* na interface da página da web como administrador (consulte como fazer *login* na interface da página da web).
2. Navegue para administrar | Configurar dispositivo | Placar | Mensagens.

Crie uma nova mensagem:

1. Clique no botão nova mensagem. Isso abrirá a caixa de diálogo nova mensagem.
2. Em Informações da mensagem:
3. Use o número da mensagem padrão; ou digite um número de mensagem (um que ainda não esteja sendo usado por outra mensagem) no campo Número da mensagem.
4. Digite o nome da mensagem (por exemplo, “Mensagem de Exemplo”) no campo Nome da Mensagem.
5. Em Conteúdo da mensagem, escolha Criar mensagem em branco para iniciar a nova mensagem do zero.
6. Clique no botão OK.

Inserir uma instrução de caixa variável:

1. Sob o cabeçalho Instruções (próximo à parte inferior da página), clique no botão Inserir. Isso abrirá uma caixa de diálogo Configuração da instrução. As instruções são os blocos de construção básicos das mensagens e cada instrução possui seu próprio diálogo para configurar sua operação.
2. Escolha Caixa variável na lista suspensa Selecionar instrução. A instrução Caixa Variável cria um grupo de linhas de texto empilhadas verticalmente, em que cada linha consiste em um rótulo de texto fixo alinhado à esquerda e um registro alinhado à direita. O registro especifica um valor em tempo real a ser exibido, que para a maioria dos aplicativos será um KPI do monitor de produção.
3. As Propriedades da região podem ser deixadas com seus valores padrão, que criarão uma região na tela com 32 linhas (extensão da linha: 1 a 32) por 80 colunas (extensão da coluna: 1 a 80) sem borda (borda: nenhuma). Uma região é o espaço reservado para o controle visual (neste caso, a Caixa Variável).
4. Os Padrões da região podem ser deixados com seus valores padrão, o que resultará em texto em vermelho brilhante (Primeiro plano: Vermelho brilhante) em fundo preto (Plano de fundo: Preto), renderizado na fonte Beryllium 8 Regular (Fonte : Beryllium 8 Regular) . Esses valores padrão podem ser substituídos linha por linha para rótulos e registros selecionados.

Insira a linha da caixa variável "Rate":

1. Sob o título Linhas de caixa variável na caixa de diálogo Configuração da instrução, clique no botão Inserir. Isso abrirá uma caixa de diálogo Linha de caixa variável.
2. Configurar informações da etiqueta:
3. Digite "Taxa" no campo Texto.
4. Escolha Usar padrão da região na lista suspensa Primeiro plano.
5. Escolha Usar padrão da região na lista suspensa Plano de fundo.
6. Escolha Selenium 8> Negrito apertado na lista suspensa fonte.
7. Configurar informações de registro:

8. Escolha Taxas> Atual> Total da taxa atual na lista suspensa Registro.
9. Escolha Taxa por hora> Vírgulas> 0 casas decimais na lista suspensa Formato numérico.
10. Escolha Cores sólidas> Âmbar> Âmbar brilhante na lista suspensa Primeiro plano.
11. Escolha Usar padrão da região na lista suspensa Plano de fundo.
12. Escolha Berílio 8> Negrito na lista suspensa Fonte.
13. Clique no botão OK.

Insira a linha da caixa variável "OEE":

1. Sob o título Linhas de caixa variável na caixa de diálogo Configuração da instrução, clique no botão Inserir. Isso abrirá uma caixa de diálogo Linha de caixa variável.
2. Configurar informações da etiqueta:
3. Digite "OEE" no campo Texto.
4. Escolha Cores sólidas> Verde> Verde brilhante na lista suspensa Primeiro plano.
5. Escolha Usar padrão da região na lista suspensa Plano de fundo.
6. Escolha Selenium 8> Apertado na lista suspensa Fonte.
7. Configurar informações de registro:
8. Escolha OEE> OEE (Shift) na lista suspensa Registrar.
9. Escolha Porcentagem>% Símbolo> 1 casa decimal na lista suspensa Formato do número.
10. Escolha Cores sólidas> Verde> Verde brilhante na lista suspensa Primeiro plano.
11. Escolha Usar padrão da região na lista suspensa Plano de fundo.
12. Escolha Usar padrão da região na lista suspensa Fonte.
13. Clique no botão OK.

Insira a linha da caixa variável "Run Time":

1. Sob o título Linhas de caixa variável na caixa de diálogo Configuração da instrução, clique no botão Inserir. Isso abrirá uma caixa de diálogo Linha de caixa variável.
2. Configurar informações da etiqueta:

3. Digite "Run Time" no campo Texto.
4. Escolha Usar padrão da região na lista suspensa Primeiro plano.
5. Escolha Usar padrão da região na lista suspensa Plano de fundo.
6. Escolha Selenium 8> Apertado na lista suspensa Fonte.
7. Configurar informações de registro:
8. Escolha Temporizadores de produção> Tempo acumulado> Tempo de execução (turno) na lista suspensa Registro.
9. Escolha Temporizador> Horas, minutos na lista suspensa Formato numérico.
10. Escolha Cores sólidas> Âmbar> Âmbar brilhante na lista suspensa Primeiro plano.
11. Escolha Usar padrão da região na lista suspensa Plano de fundo.
12. Escolha Usar padrão da região na lista suspensa Fonte.
13. Clique no botão OK.

Inserir a linha da caixa variável "Rejeita"

1. Sob o título Linhas de caixa variável na caixa de diálogo Configuração da instrução, clique no botão Inserir. Isso abrirá uma caixa de diálogo Linha de caixa variável.
2. Configurar informações da etiqueta:
3. Digite "Rejeita" no campo Texto.
4. Escolha Usar padrão da região na lista suspensa Primeiro plano.
5. Escolha Usar padrão da região na lista suspensa Plano de fundo.
6. Escolha Selenium 8> Apertado na lista suspensa Fonte.
7. Configurar informações de registro:
8. Escolha Contadores> Contagem de rejeitos> Shift na lista suspensa Registrar.
9. Escolha Número> Vírgulas> Sem redimensionamento> 0 casas decimais na lista suspensa Formato numérico.
10. Escolha Cores sólidas> Âmbar> Âmbar brilhante na lista suspensa Primeiro plano.
11. Escolha Usar padrão da região na lista suspensa Plano de fundo.
12. Escolha Usar padrão da região na lista suspensa Fonte.
13. Clique no botão OK.

As linhas da caixa variável podem ser reordenadas com o recurso de arrastar e soltar, se você desejar reorganizar a ordem delas na tela do visor.

Salve sua mensagem:

1. Na caixa de diálogo Configuração da instrução, clique no botão OK.
2. Clique no botão Salvar alterações. Isso armazenará a nova mensagem na memória não volátil (ou seja, ela será mantida mesmo quando a energia for removida do dispositivo TMA).
3. Clique no botão OK para confirmar as alterações. Uma barra de progresso será exibida por alguns segundos enquanto a mensagem está sendo salva.
4. Clique no botão Exibir mensagem para testar a mensagem no visor visual TMA.

Como chamar uma nova mensagem para exibição:

As mensagens são acessadas incluindo o comando Exibir> Reproduzir mensagem em um programa TMA. Isso permite que as mensagens sejam acessadas de qualquer fonte que possa acionar um programa TMA, incluindo:

- Entradas (quando uma entrada digital é ativada)
- Inicialização (quando o dispositivo TMA está ligado)
- Estado de produção (quando um novo estado de produção é inserido)
- Predefinições (quando um registro atinge um valor predefinido)
- Códigos de motivo (quando um código de motivo é definido para o evento mais recente de um estado de produção)
- Horários (com base na hora do dia)

4.4.3.2 Introdução ao kit de código de barras

Este procedimento passo a passo descreve como instalar e usar o TMA *Barcode Kit*. O kit inclui as seguintes partes:

- Leitor de códigos de barra
- Cabo de interface

As aplicações típicas do TMA *Barcode Kit* são:

- Códigos de motivo do log - use um scanner de código de barras para registrar informações sobre o estado do ativo de produção, como o motivo pelo qual um ativo de produção estava inoperante. Isso pode ser útil para analisar o desempenho passado para ajudar a melhorar o desempenho presente e futuro.
- Executar programas TMA - Use um scanner de código de barras para acionar programas TMA para execução. Essa é uma boa alternativa ao uso de entradas digitais, porque nenhuma fiação adicional é necessária, mesmo quando mais programas são criados.

Etapa 1 - Remova a placa de acesso:

1. Verifique se todas as fontes de energia foram completamente desconectadas do dispositivo TMA.
2. Remova e guarde os parafusos que prendem a placa de acesso (seis a dez parafusos, dependendo do modelo).
3. Puxe cuidadosamente a placa de acesso para longe do dispositivo TMA. A placa de acesso permanecerá conectada ao dispositivo TMA através de sua pulseira de aterramento.

Etapa 2 - Conecte o cabo de interface ao dispositivo:

1. Conecte o cabo de interface ao conector RS-232 de 5 pinos do seu dispositivo TMA.
2. Conecte o fio vermelho ao pino 1.
3. Conecte o fio verde ao pino 2.
4. Conecte o fio preto ao pino 3.
5. Conecte o conector RS-232 de 5 pinos ao local P3 na placa lógica TMA.
6. Conecte o conector serial do scanner de código de barras ao cabo da interface.
7. Conecte o plugue do adaptador de A / C ao conector serial do scanner de código de barras.

Etapa 3 - Teste o sistema:

Leia o código de barras apresentado na Figura 30. Isso deve acionar a execução de um programa de teste de código de barras. Esse teste é ativado

apenas em dispositivos configurados com um modelo de configuração TMA enviado com o firmware v0.5.0 ou posterior, que inclui todos os novos dispositivos enviados após 1º de maio de 2009. Se você optar por reconfigurar um dispositivo instalado para habilitar esse teste, certifique-se de exportar um backup da sua configuração existente, caso precise restaurá-lo (consulte Restaurando a configuração do dispositivo).

Figura 30 – Código de Barras de Teste.

Barcode Test



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Se digitalizada com sucesso, a varinha do código de barras emitirá um bipe e o visor TMA exibirá o texto "Código de Barras" por 5 segundos. Se o texto não for exibido e o dispositivo estiver configurado com um modelo de configuração TMA compatível, verifique a fixação e digitalize o código de barras novamente.

4.4.3.3 Códigos de Barras dos Motivos de Tempo de Inatividade

Os seguintes motivos de tempo de inatividade apresentados na Figura 31 são padrão em todos os dispositivos TMA e podem ser digitalizados diretamente nesta página.

Figura 31 – Códigos de Barras dos Motivos de tempo de inatividade.

Down (Misc.)



Breakdown



Jam



No Materials



No Operator



Adjustment



Cleaning



Autonomous Maintenance



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

4.4.3.4 Efetuando login na interface da página da Web

Algumas páginas na interface da página da web são protegidas por senha e, portanto, ficam inacessíveis quando não estão logadas. Este procedimento passo a passo descreve como efetuar login na interface da página da web para acessar essas páginas protegidas por senha.

Entrar:

1. Digite o endereço IP do dispositivo TMA na barra de endereços do seu navegador e pressione a tecla Enter para carregar a página inicial do TMA. Observe que o endereço IP do dispositivo TMA é exibido na inicialização.
2. Depois que a página inicial do TMA for carregada, clique no link Logon no canto superior direito da interface da página da web.
3. Selecione Operador, Supervisor (para acessar Configurações e integridade do sistema) ou Administrador (para acessar Configuração) e digite a senha apropriada (as senhas padrão definidas de fábrica estão listadas no documento FAQ do TMA).
4. Clique em Entrar.

Imprimindo uma página da Web:

Para imprimir algumas imagens de uma página da Web TMA, será necessário ativar a impressão de cores e imagens de plano de fundo no seu navegador. Este procedimento passo a passo descreve como configurar seu navegador da Web para imprimir páginas da Web TMA.

Habilitar impressão em segundo plano no Internet Explorer:

1. Clique no ícone de engrenagem na parte superior direita do Internet Explorer, em seguida, expanda Imprimir e clique em Configurar página.
2. Marque Imprimir cores e imagens de fundo na seção Opções da página, no canto superior esquerdo.
3. Clique no botão OK para fechar a caixa de diálogo Configuração da página.

Ativar impressão em segundo plano no Firefox:

1. A partir do menu Firefox, expanda Imprimir e, em seguida, clique em Configurar página.
2. Clique na guia Formato e opções.
3. Marque a caixa de seleção Imprimir plano de fundo (cores e imagens).
4. Clique no botão OK para fechar a caixa de diálogo Configuração da página.

4.4.3.5 Impressão de códigos de barras de peças

Este procedimento passo a passo descreve como gerar e imprimir códigos de barras de peças usando a interface da página da web TMA. Os códigos de barras podem ser usados para iniciar um novo trabalho de produção com as configurações de uma peça específica. Eles podem ser digitalizados com um scanner de código de barras padrão, como o disponível em qualquer um dos kits de código de barras TMA, conforme mostrado na Figura 32.

As peças produzidas regularmente são as melhores candidatas para códigos de barras de peças. Se uma peça é produzida com pouca frequência ou se suas configurações variam de trabalho para trabalho, um código de barras da peça pode não ser útil.

Para esses casos, o Administer | Configurações | A página Trabalho oferece uma maneira mais fácil de iniciar um novo trabalho com as configurações de peças dinamicamente.

Figura 32 – Códigos de barras de peças.

PART BARCODES

AA-2963



AA-3143



AA-9759



AB-5724



AB-8321



AC-2850



BA-4763



BB-1581



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Faça login e navegue até a página de configuração de peças:

1. Faça login na interface da página da web como administrador (consulte Como fazer login na interface da página da web).
2. Navegue para administrar | Configurar dispositivo | Monitor de produção | Parts.

Gere e imprima os códigos de barras:

1. Clique no botão Imprimir códigos de barras, Isso abrirá o assistente Imprimir códigos de barras.
2. Selecione os itens que deseja imprimir. Somente os marcados serão impressos.
3. Selecione as informações (se houver) que você gostaria que aparecessem no cabeçalho da página, incluindo um comentário opcional.
4. Clique no botão Gerar códigos de barras.
5. Clique no botão Imprimir. Uma página será aberta com os códigos de barras.
6. Escolha a impressora que você gostaria de usar e, em seguida, imprima os códigos de barras.

4.4.3.6 Impressão dos códigos de barras do trabalho

Este procedimento passo a passo descreve como gerar e imprimir códigos de barras do trabalho usando a interface da página da web TMA conforme demonstrado na Figura 33. Os códigos de barras podem ser usados para iniciar rapidamente um novo trabalho de produção com configurações pré-configuradas. Eles podem ser digitalizados com um scanner de código de barras padrão, como o disponível em qualquer um dos kits de código de barras TMA.

Os trabalhos executados regularmente ou cujas configurações são conhecidas com antecedência são os melhores candidatos para códigos de barras de trabalhos. Se um trabalho se destina a ser executado imediatamente e apenas uma vez, um código de barras do trabalho pode não ser útil. Para esses casos, o Administer | Configurações | A página Trabalho oferece uma maneira mais fácil de iniciar um novo trabalho com configurações personalizadas *on-the-fly*.

Figura 33 – Impressão dos códigos de barras do trabalho.

JOB BARCODES

Bensenville

Run #259



Part Identifier: BB-4091
Goal Count: 1200

Run #260



Part Identifier: EG-5102
Goal Count: 1950

Run #261



Part Identifier: FF-7676
Goal Count: 5370

Run #262



Part Identifier: AC-2850
Goal Count: 60

Run #263



Part Identifier: EB-0177
Goal Count: 2100

Run #264



Part Identifier: GB-4955
Goal Count: 4000

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Faça login e navegue até a página de configuração de trabalhos:

1. Faça login na interface da página da web como administrador (consulte Como fazer login na interface da página da web).
2. Navegue para administrar | Configurar dispositivo | Monitor de produção | Jobs.

Gere e imprima os códigos de barras:

1. Clique no botão Imprimir códigos de barras, Isso abrirá o assistente Imprimir códigos de barras.
2. Selecione os itens que deseja imprimir. Somente os marcados serão impressos.
3. Selecione as informações (se houver) que você gostaria que aparecessem no cabeçalho da página, incluindo um comentário opcional.
4. Clique no botão Gerar códigos de barras.
5. Clique no botão Imprimir. Uma página será aberta com os códigos de barras.
6. Escolha a impressora que você gostaria de usar e, em seguida, imprima os códigos de barras.

4.4.3.7 Códigos de barras do programa de impressão

Este procedimento passo a passo descreve como gerar e imprimir códigos de barras de programas usando a interface da página da web TMA. Os códigos de barras podem ser usados para acionar programas TMA para execução, digitalizando-os usando um scanner de código de barras, como o disponível em qualquer um dos kits de código de barras TMA.

Somente programas que foram programados para o dispositivo TMA estão disponíveis para impressão de código de barras. Se houver alterações não salvas, programe-as para o dispositivo antes de continuar (consulte Programando a configuração no dispositivo) para garantir que todos os programas estejam disponíveis para impressão de código de barras.

Faça login e navegue até a página de configuração de programas

1. Faça login na interface da página da web como administrador (consulte Como fazer login na interface da página da web).
2. Navegue para administrar | Configurar Dispositivo | Programas.

Gere e imprima os códigos de barras:

1. Clique no botão Imprimir códigos de barras. Isso abrirá o assistente Imprimir códigos de barras.
2. Selecione os itens que deseja imprimir. Somente os marcados serão impressos.
3. Selecione as informações (se houver) que você gostaria que aparecessem no cabeçalho da página, incluindo um comentário opcional.
4. Clique no botão Gerar códigos de barras.
5. Clique no botão Imprimir. Uma página será aberta com os códigos de barras.
6. Escolha a impressora que você gostaria de usar e, em seguida, imprima os códigos de barras.

4.4.3.8 Impressão de códigos de barras do motivo

Um método comum de registrar códigos de razão é criar uma folha de papel laminada com códigos de barras para cada código de razão e usar um scanner de

código de barras de interface RS-232 para digitalizar esses códigos de barra. Este procedimento passo a passo descreve como gerar e imprimir códigos de barras para definir códigos de motivo usando a interface da página da web TMA, conforme mostra a Figura 34. Somente códigos de motivo que foram programados para o dispositivo TMA estão disponíveis para impressão de código de barras. Se houver alterações não salvas, programe-as no dispositivo antes de continuar (consulte Programando a configuração no dispositivo) para garantir que todos os códigos de razão estejam disponíveis para impressão de código de barras.

Figura 34 – Códigos de barras dos motivos de paradas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Efetue o login e navegue até a de configuração de códigos de razão:

1. Faça login na interface da página da web como administrador (consulte como fazer login na interface da página da web).
2. Navegue para administrar | Configurar dispositivo | Monitor de produção | Razões.

Gere e imprima os códigos de barras:

1. Clique no botão Imprimir códigos de barras. Isso abrirá o assistente Imprimir códigos de barras.
2. Selecione os itens que deseja imprimir. Somente os marcados serão impressos.
3. Selecione as informações (se houver) que você gostaria que aparecessem no cabeçalho da página, incluindo um comentário opcional.
4. Clique no botão Gerar códigos de barras.

5. Clique no botão Imprimir. Uma página será aberta com os códigos de barras.
6. Escolha a impressora que você gostaria de usar e, em seguida, imprima os códigos de barras.

4.4.3.9 Estabelecendo objetivos

Metas representam o número de peças planejadas para serem fabricadas para um turno e / ou trabalho. Ao definir metas, o progresso pode ser monitorado de duas maneiras diferentes:

- Peças para a meta (quantas peças ainda precisam ser fabricadas para atingir a meta)
- Porcentagem da meta (quão perto está a produção de atingir a meta em termos de porcentagem)

Entrar:

Efetue login na interface da página da web como Supervisor (consulte Efetuando login na interface da página da Web.)

Definir meta de turno:

1. Navegue para administrar | Configurações | Shift.
2. Digite a meta (o número de peças planejadas para o turno atual).
3. Clique em Salvar configurações.

Definir meta de trabalho:

1. Navegue para administrar | Configurações | Job.
2. Digite a meta (o número de peças planejadas para o novo trabalho).
3. Clique em Iniciar trabalho.

A configuração do *TMA Management Center* está então descrita, ANEXO F e ANEXO G, o próximo passo será demonstrar como foi feita a aplicação do TMA com o uso do método DMAIC na empresa do estudo de caso.

4.5 APLICAÇÃO DO TMA

Foram instalados os sensores adequadamente na máquina Klockner com o objetivo de monitorar de forma *on-line* o desempenho atual do equipamento. Iniciou-se a aquisição dos dados via sensores e dispositivo *IoT*. O *streaming* de informações foi armazenado em um banco de dados, *Big Data*, que se encontra em uma nuvem, *Cloud Computing*. O roteiro de instalação do *hardware* do TMA foi executado como está demonstrado na seção 4.4.1, sem alterações. Depois da instalação do TMA Device, foi executada a configuração do TMA Management Center, como demonstrado na seção 4.4.3.

A instalação do TMA Device na máquina Klockner e a implantação e configuração dos cadastros básicos do TMA Management Center estão então descritas, o próximo passo será aplicar as etapas do método DMAIC: Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar, na empresa do caso de estudo, utilizando os dados coletados pelo TMA.

4.6 APLICACAO DO MÉTODO DMAIC

Esse estudo de caso foi implementado através do método DMAIC sugerido por (ECKES, 2001; NAVE, 2002; PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2007; SNEE; HOERL, 2005). Este método consiste basicamente em uma seqüência estruturada de cinco etapas que serão descritas a seguir, começando pelas etapas Definição da Situação Inicial e Medição dos Indicadores de desempenho.

Para este estudo de caso adicionalmente foi utilizado o formato de aplicação do método DMAIC utilizado por Brito (2008) em sua dissertação, como uma referência para execução deste trabalho, sem desrespeitar os padrões da metodologia DMAIC apresentados no capítulo 3.

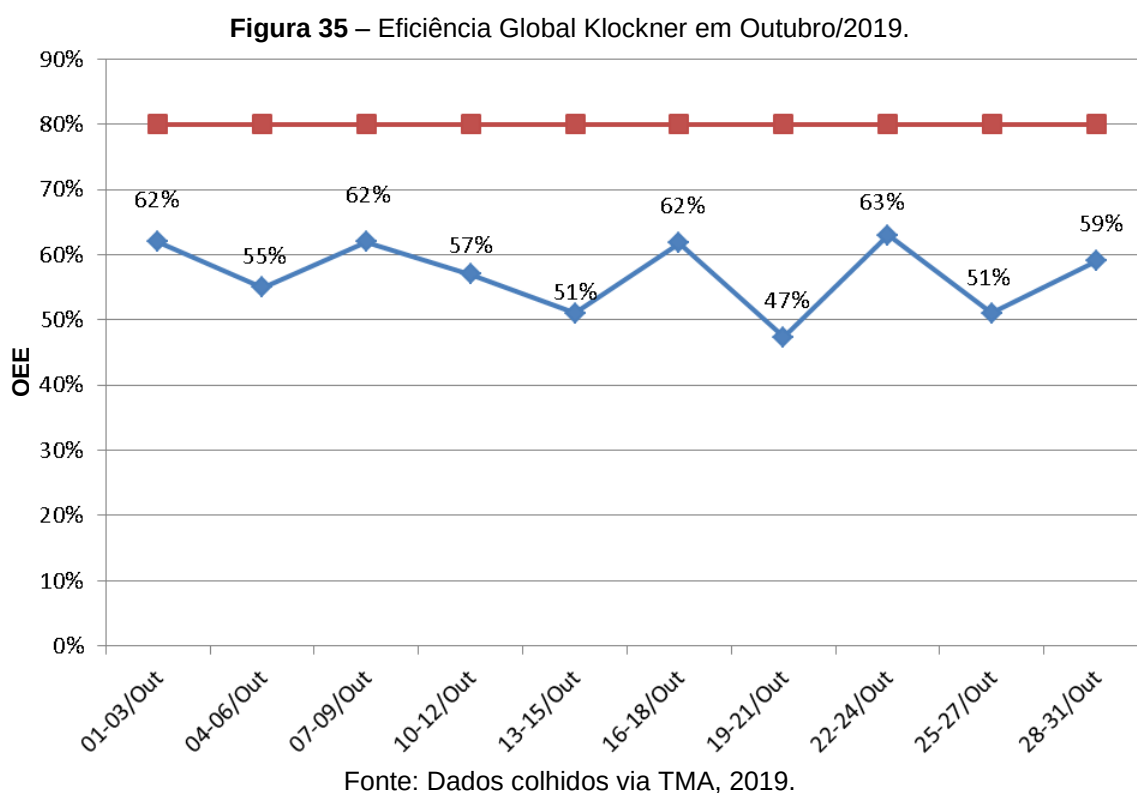
Portanto, devido ambos os trabalhos adotarem a metodologia DMAIC e a semelhança no processo de produção das empresas pesquisadas, foi observada uma oportunidade de ampliação do trabalho do colega com aplicação do TMA e também atender recomendações de trabalhos futuros que constam em sua dissertação. Segundo Brito (2008), sugeriu como trabalhos futuros:

- Realizar uma pesquisa mais abrangente, em indústrias semelhantes, não se restringindo a apenas um caso de aplicação da abordagem estudada;

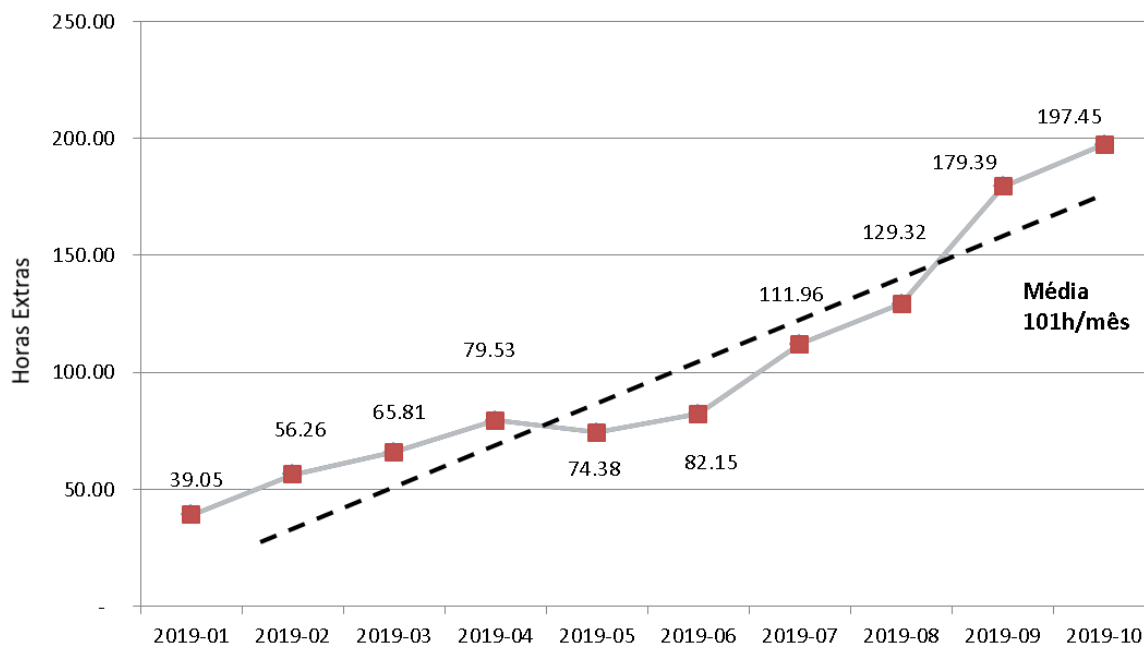
- Despertar a curiosidade e estimular na academia o desejo de novas pesquisas.

4.6.1 Definição da Situação Inicial

A equipe iniciou o projeto com base na oportunidade de melhoria identificada pela liderança: reduzir as horas extras na área de produção de partes sólidas. O problema do aumento das horas extras deve-se principalmente à baixa eficiência geral da máquina de enchimento e montagem de caixas Klockner, como mostra a Figura 35. Em média, a eficiência geral atingiu 57% do tempo total de produção da máquina conforme dados medidos pelo TMA em outubro de 2019, o que levou a equipe de pesquisa da empresa a escolher essa máquina como uma oportunidade para melhorar a eficiência operacional da empresa.

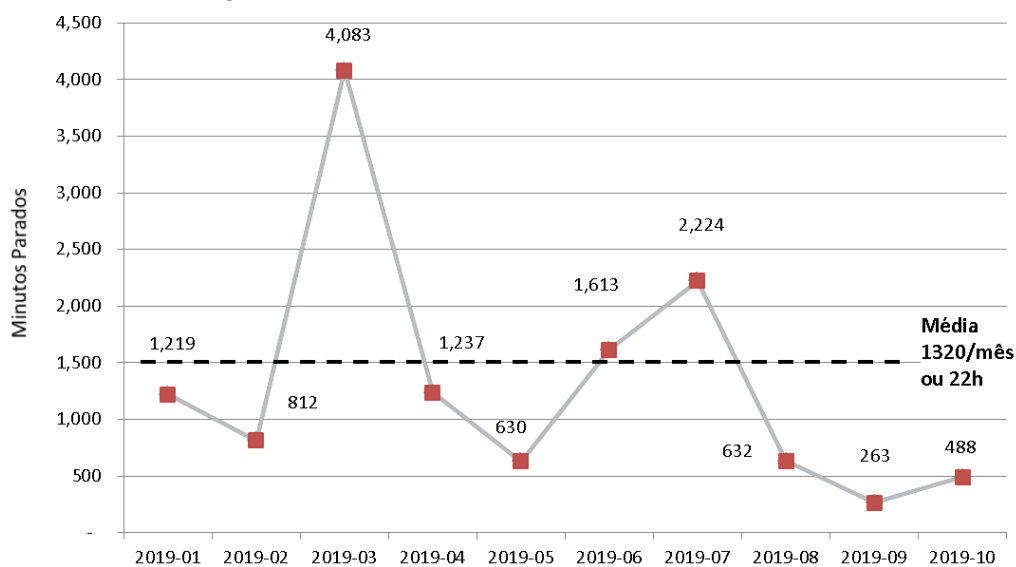


Verificou-se que de janeiro a outubro de 2019 a média de horas-extras mensal na sala de enchimento de partes sólidas Klockner foi de 101 horas conforme apresentado na Figura 36. Sendo que a empresa trabalha em média 8 horas por dia, isto significa quase uma pessoa a mais durante 12 dias de trabalho.

Figura 36 – Horas-extras na sala de enchimento.

Fonte: Empresa objeto de estudo – dados da folha de pagamento, 2019.

Nesta análise verificou-se também que de janeiro a outubro de 2019 esta sala de produção teve em média 22 horas de *downtime* conforme mostrado na Figura 37. Contribuindo estas paradas para a redução da disponibilidade do equipamento e influenciando negativamente o indicador OEE.

Figura 37 – Paradas de linha na sala de enchimento.

Fonte: Dados colhidos via TMA, 2019.

4.6.1.1 Definição do Problema

Após a análise foi constatado que o problema na Máquina Enchedora Klocker era baixa produtividade, a eficiência global do equipamento em média era de 57%, gerando horas-extras para empresa. Além disso, foi verificado que esta sala de produção possuía processos instáveis e existiam desperdícios nesta área.

Com estas análises a equipe pode fazer uma definição do problema: A máquina enchedora de partes secas Klockner possui uma Eficiência Global do Equipamento (OEE) de 57%, gerando uma média de horas-extras de 101 horas por mês causadas pelas paradas de linhas.

4.6.1.2 Definição de Metas para OEE e Nível Sigma

Conforme analisado na etapa definir o OEE para a sala de produção de partes sólidas na enchedora Klockner estava em 57% de sua eficiência, como pode-se ver na Tabela 6, produz um nível sigma para o processo de 1,6.

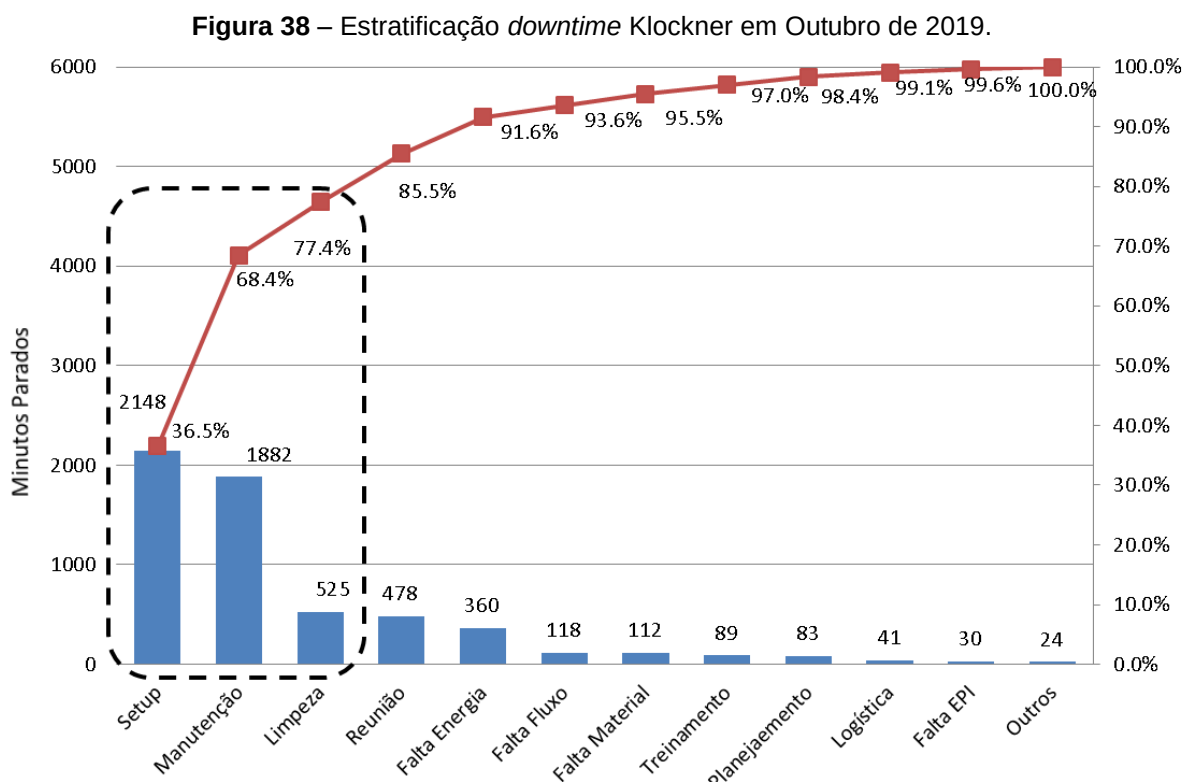
A equipe propôs uma melhoria de 50% no OEE o que produzirá um novo sigma de 2,6 e um OEE de 85 %, para este equipamento. Sabendo-se que o valor de classe mundial, *world class*, é de um OEE de 85% e um nível *sigma* de 2,6.

Tabela 6 – Eficiência atual da Klockner e proposta de melhoria.

Status	OEE	Nível Sigma
Atual	57%	1,6
Meta	85%	2.6
World Class	85%	2.6

Fonte: Empresa objeto de estudo, 2019.

Analisando as informações estratificadas através do TMA dos desperdícios de tempo com paradas e setup, conforme mostra a Figura 38, verificou-se que 36,5% das paradas do equipamento estão relacionadas com *setup*, 31,9% são relativos à manutenção do equipamento e 9% são relacionados à limpeza da máquina, somando 77,4% das causas de paradas.



Fonte: Dados colhidos via TMA, 2019.

Analisando-se os tempos de setups da máquina Klockner verifica-se há uma grande oportunidade para redução do tempo de *setup* e de manutenção para o aumento da eficiência da Klockner.

4.6.1.3 Definição de Metas para MTBF e MTTR

Coletando com o TMA as informações de MTBF e MTTR da Klockner no mês de outubro de 2019 chegou-se aos seguintes dados descritos na Tabela 7, abaixo:

Tabela 7 – Cálculo MTBF e MTTR Klockner em Outubro de 2019.

Tempo Disponível (h)	Paradas (h)	No. Manutenções Corretivas (MC)	MTBF (h)	MTTR (h)	Disponibilidade Ai (%)
184	31.36	12	12.72	2.61	82.96%

Fonte: Empresa objeto de estudo – dados colhidos via TMA, 2019.

Os resultados apresentados na Tabela 7 incomodaram a gerência industrial devido ao elevado número de horas paradas e também devido a uma elevada quantidade de manutenções corretivas na enchedora Klocker.

Com base nas análises dos valores da Tabela 7 fez-se as seguintes propostas de melhorias, descritas na Tabela 8.

Tabela 8 – Proposta de melhoria do MTBF/MTTR.

MTBF (h)	MTTR (h)	Disponibilidade Ai (%)
36.00	0.80	97.83%

Fonte: Empresa objeto de estudo, 2019.

A proposta de melhoria apresentada na Tabela 8 foi construída com base na aplicação de um % definido pela gerência industrial em cada um dos indicadores avaliados na Tabela 7. Os critérios de cálculo desta proposta de melhoria não foram informados para o time de projeto, foram apenas determinados como meta.

4.6.2 Medição dos Indicadores de Desempenho

Na metodologia DMAIC adotada pela empresa, a etapa medir teve como objetivo medir o desempenho do processo através de uma auditoria. O TMA coletou os dados dos defeitos e do processo para serem analisados por meio das seguintes ferramentas: fluxo do processo e gráfico de Pareto e gráfico de tendência e as ferramentas da Manufatura Enxutas utilizadas, para apoiar as ferramentas da metodologia Seis Sigma foram realizados: Eficácia Global do Equipamento OEE, MTTR, MTBF e Nível Sigma. Na coleta de dados através do TMA foram estabelecidos os seguintes indicadores conforme mostra o Quadro 15.

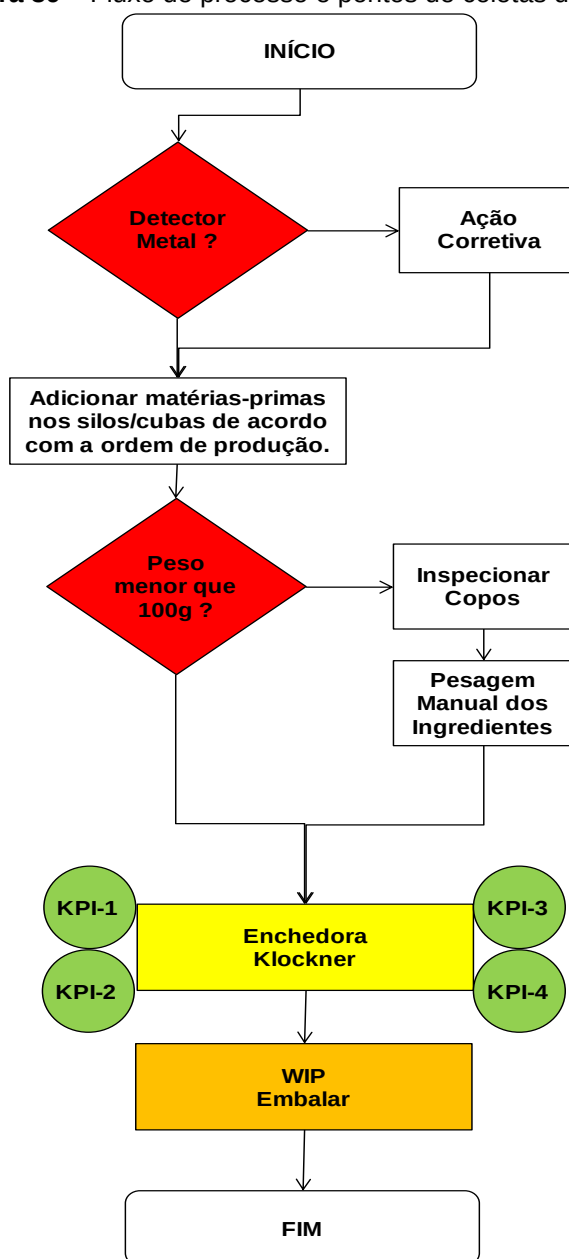
Quadro 15 – Indicadores de performance Klockner.

Indicador KPI	O que medir
KPI-1	OEE
KPI-2	Nível Sigma
KPI-3	MTBF
KPI-4	MTTR

Fonte: Empresa objeto de estudo, 2019.

Para medir o problema na máquina Klockner de maneira precisa criou-se o fluxo de processo, Figura 39, de forma a representar graficamente as seqüências das operações que formam este processo, dando uma visão geral sobre todas as operações existentes nesta área de produção. Bem como identificar os melhores pontos para instalação dos sensores para coleta dos dados da produção. A partir dessa ferramenta foi possível visualizar os pontos de coleta dos indicadores os quais foram chamados (KPI-1, KPI-2, KPI-3, KPI-4) e estão representados no Quadro 15.

Figura 39 – Fluxo de processo e pontos de coletas de dados.



Fonte: Empresa objeto de estudo, 2019.

4.6.3 Análise das Causas-raiz

Nesta fase de análise, buscou-se analisar os dados obtidos pelo TMA utilizando os conceitos da Manufatura Avançada e mapas do processo para determinar as causas-raiz e as oportunidades de melhoria. As ferramentas da Manufatura Enxuta que apoiaram as ferramentas do Seis Sigma para as análises dos problemas foram: A análises do *Takt time* e Trocas Rápidas de Ferramentas (SMED).

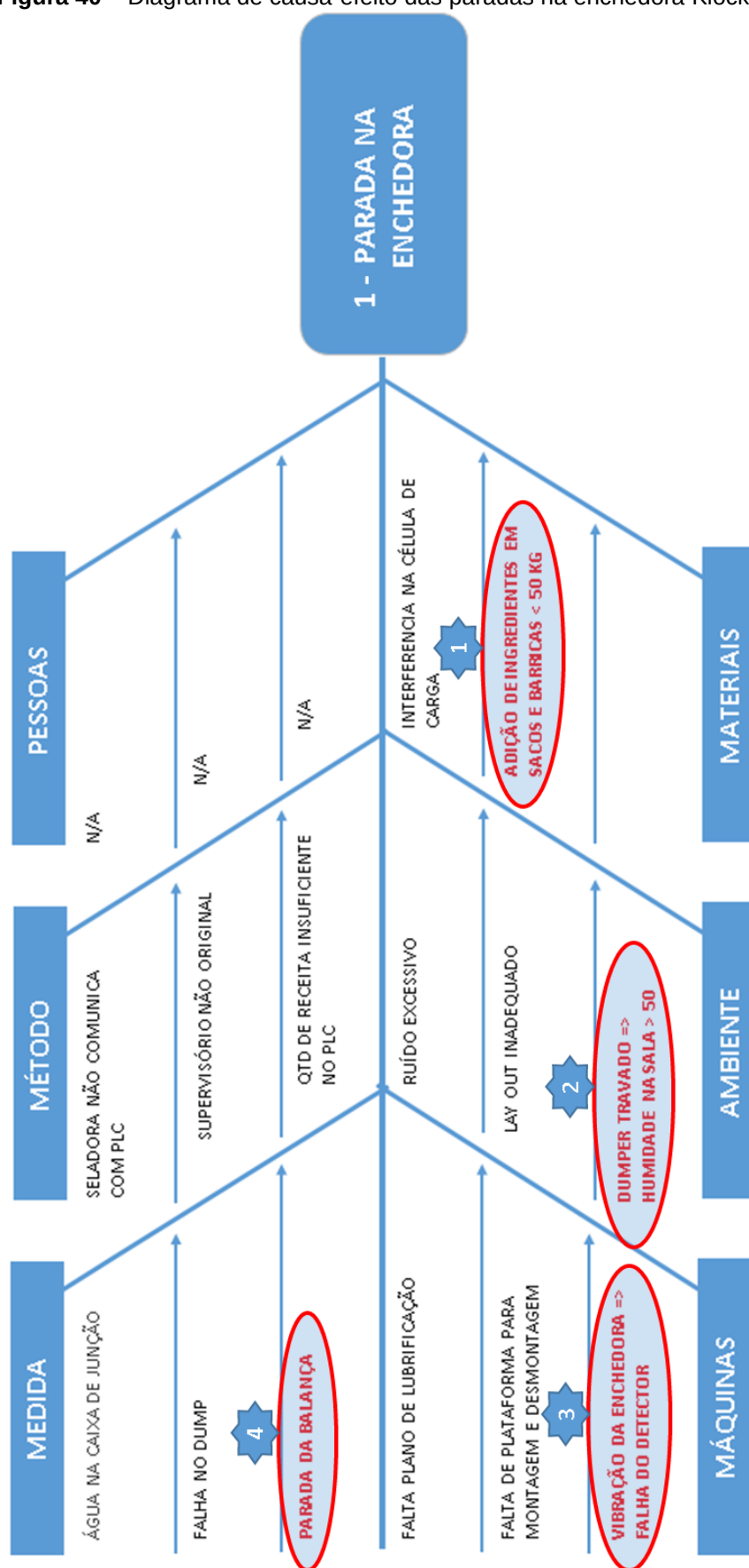
O *Brainstorming*, ou chuvas de idéias, foi utilizado como um método de geração de causas-raiz potenciais, onde se procurou identificar através de questionamentos, quais seriam os porquês de determinado problema ter ocorrido. As causas potenciais foram posteriormente organizadas em diagramas de causa e efeito, conhecidos também como diagrama de espinha de peixe ou *Ishikawa*, esta ferramenta foi escolhida para estruturação das causas potenciais para que as causas-raiz pudessem ser identificadas e ações corretivas pudessem ser tomadas e assim proporcionar um entendimento.

Foram criados quatro diagramas de causas-efeitos, para os principais problemas da Klockner, com o objetivo de validar as causas potenciais, eles foram: Parada da máquina de enchimento, esteiras, montadoras de caixas e seladoras de sacos.

Analisando o diagrama de causa-efeito relativo às paradas na máquina enchedora Klockner, conforme Figura 40, 41, 42 e 43, foram consideradas quatro possíveis causas-raiz para as paradas da enchedora, estas possíveis causas foram analisadas e testadas. Como critério de validação das causas, a equipe de trabalho estabeleceu que somente problemas que apresentassem uma significância estatística superior a 40% seriam considerados neste momento como causa-raiz e as outras que apresentassem valores menores, se a equipe julgasse adequada, seriam abertas ações para elas também. Foram analisadas quatro causas como as maiores responsáveis pelas paradas da máquina enchedora:

1. Paradas na enchedora;
2. Paradas na esteira;
3. Paradas na montadora de caixas;
4. Paradas na seladora de sacos.

Figura 40 – Diagrama de causa-efeito das paradas na enchedora Klockner.



Fonte: Empresa objeto de estudo, 2019.

1. Adição de ingredientes em sacos menores de 50 kg, pois quando se trabalhava com sacos de 25kg o tempo de adição no tanque era de aproximadamente 10 minutos para enchê-lo. Quando utilizavam ingredientes em embalagens *big bag* de 600kg o tempo de abastecimento do tanque era de apenas 1:22 minutos, logo esta causa foi validada pela equipe do projeto.

2. O nível de umidade: Não pode ser maior que 50%, pois este problema pode causar parada na enchedora porque a matéria-prima pode ter capacidade de absorver a umidade do ambiente, causando o empedramento, e isto causará problemas para enchimento, pois a máquina foi projetada para encher matéria-prima em pó. Esta validação foi feita com medidor de umidade, onde o mesmo foi instalado e calibrado. A medição foi realizada em toda trajetória da matéria-prima durante o processo produtivo, desde o seu recebimento até o enchimento. Para isso foram coletadas amostras e verificado o nível de umidade e como ela influenciava no processo, observou-se que para umidade superior a 50% o operador precisaria às vezes para a máquina para desfazer os empedramentos que se formavam na matéria-prima, porém essas paradas não representavam mais de 40% como havia sido estabelecido nos critérios de validações da equipe, logo esta causa não foi validada. Porém por requisitos de qualidade da empresa este problema foi tratado.

3. Falha no detector de metais da matéria-prima que é utilizada durante o processo produtivo. Este equipamento é acoplado à Klockner, sua função é detectar materiais metálicos que possam causar danos à saúde do consumidor, ele detecta partículas metálicas de no mínimo 1,2mm. O equipamento ao detectar uma partícula metálica na matéria-prima, interrompe a linha de produção para que se possa fazer a retirada do material detectado. Na análise dessa possível causa-raiz, verificou-se a possibilidade da vibração no detector de metais interferir no desempenho, porém quando a medição da vibração foi realizada, verificamos que apenas 9% das paradas na enchedora estavam relacionadas com o detector de metal, sendo assim esta causa-raiz foi descartada por não apresentar significância estatística segundo o critério estabelecido pelo grupo;

4. Balanças de pesagem da matéria-prima. Diariamente antes de qualquer enchimento as balanças que pesam os produtos são verificadas quanto a sua exatidão e durante os enchimentos todos as massas são registradas através do controle estatístico do processo. Quando ocorre alguma interferência, ou falha nestes equipamentos a manutenção é informada e estas paradas e problemas são

registrados nos livros de controles das balanças, a equipe do projeto analisou todos esses dados e pode verificar que os problemas com a balança representavam 67 % das paradas na enchedora, e destes problemas, os elétricos representavam 98 % das paradas enquanto que os mecânicos representavam apenas 2 %. Sendo assim pelo critério estabelecido pela equipe do projeto esta causa-raiz foi validada.

Na Tabela 9, esta apresentada resumidamente quais causas foram validadas e quais as metodologias usadas para essas validações, como pode-se ver das quatro principais causas analisadas somente duas foram validadas, mas por requisitos de qualidade foram tomadas ações para três.

Tabela 9 – Validação das causas raiz da enchedora Klockner.

Causa Raiz Potencial	Descrição	Método de Verificação	Confirmação causa-raiz
1	Adição de ingredientes em barricas e sacos menores que 50Kg.	Significância estatística	SIM
2	Umidade na sala maior que 50%.	DOE	NÃO
3	Falha no detector de metal.	Significância estatística	SIM
4	Falha na balança.	Significância estatística	SIM

Fonte: Empresa objeto de estudo, 2019.

Para o problema de parada da esteira, conforme mostra a Figura 41, foram identificadas três causas-raiz potenciais:

Figura 41 – Diagrama de causa-efeito das paradas na esteira transportadora.



Fonte: Empresa objeto de estudo, 2019.

5. Massa de dosagem acima da capacidade original do projeto. Foi verificado que atualmente a esteira estava transportando até 30 kg. Enquanto a mesma havia sido projetada para fazer enchimentos com massa máxima de 12 kg, validada pela equipe como causa-raiz;

6. O tempo de linha parada pela queima do motor, ou falhas mecânicas representava 81% das ocorrências, de acordo com os registros históricos da área de manutenção, sendo assim esta causa foi validada;

7. Desgaste das correntes gerando quebras nas esteiras de acordo com os dados históricos representava 66 % das ocorrências, sendo assim validada como causa-raiz.

A Tabela 10, apresenta resumidamente quais causas foram validadas e quais as metodologias usadas para estas validações, obtem-se as três causas analisadas e validadas para a parada da esteira.

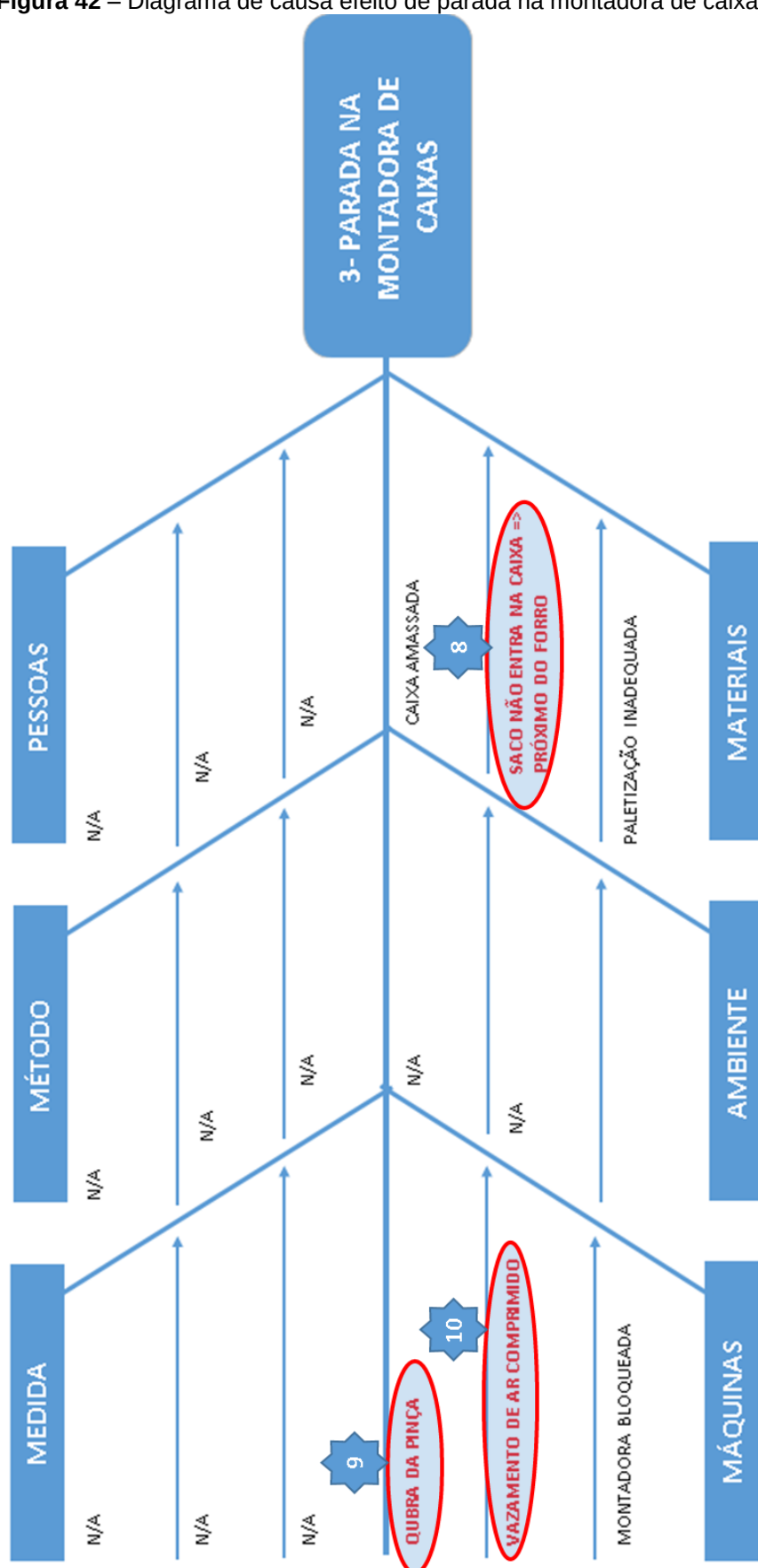
Tabela 10 – Validação causas raiz da enchedora Klocker.

Causa Raiz Potencial	Descrição	Método de Verificação	Confirmação causa-raiz
5	Peso de dosagem acima da capacidade original do projeto > 12Kg	Análise de capacidade	SIM
6	Motor queimado	Significância estatística	SIM
7	Falha das correntes	Significância estatística	SIM

Fonte: Empresa objeto de estudo, 2019.

Para o problema de parada na montadora de caixas, conforme a Figura 42, foram identificadas três causas-raiz potenciais:

Figura 42 – Diagrama de causa efeito de parada na montadora de caixas.



Fonte: Empresa objeto de estudo, 2019.

8. Caixas danificadas devido a estar próxima do forro. Esta causa não foi validada, pois as ocorrências foram inferiores a 40% de significância, mas foram tomadas ações para evitar problemas de qualidade nestes produtos. As ações foram mudanças no modo de estocagem, transferindo as caixas que ficavam na parte superior dos palletes para as partes inferiores das paleteiras. Quanto às caixas que sofriam deformidade na base do pallet a solução foi reduzir a quantidade de caixas empilhadas em um único pallet.

9. Quebra das pinças. Esta causa não foi validada, pois representava apenas 19% das ocorrências, já que todo o processo de montagem das caixas e sacos é automático.

10. O vazamento de ar comprimido também não foi validado como causa-raiz, pois representava apenas 26% das falhas, porém a equipe tomou como ação preventiva substituir todas as mangueiras de ar comprimido, pois este vazamento ocorre devido ao ressecamento e desgaste natural do material das mangueiras.

A Tabela 11, apresenta resumidamente quais causas foram validadas e quais as metodologias usadas para estas validações, como pode-se ver das três causas analisadas apenas uma foi validada, porém foram tomadas ações para as outras duas causas para evitar possíveis problemas de qualidade dos produtos.

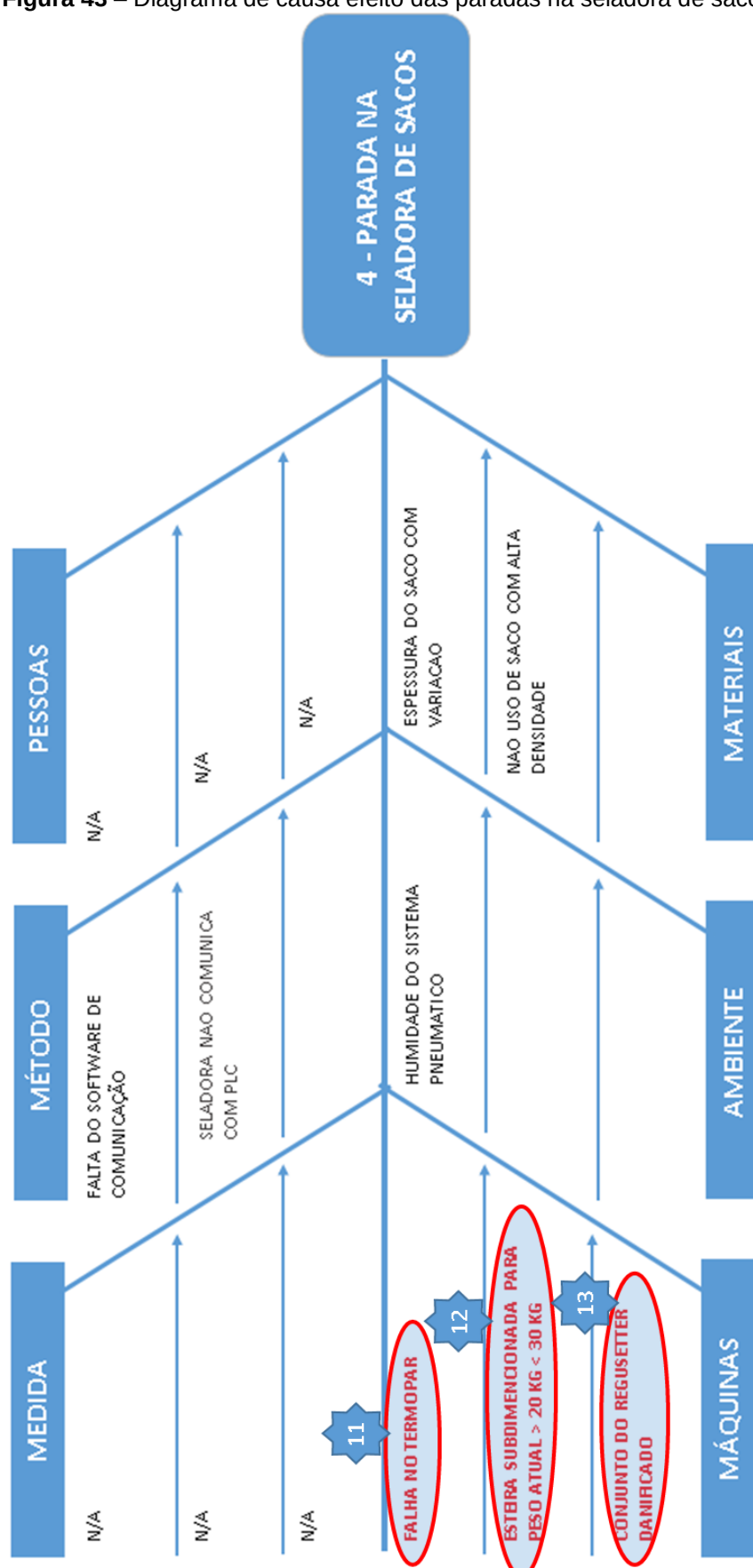
Tabela 11 – Validação causas raiz das paradas na montadora de caixa.

Causa Raiz Potencial	Descrição	Método de Verificação	Confirmação causa-raiz
8	Caixa avariada	DOE	SIM
9	Quebra da pinça	Significância estatística	NÃO
10	Vazamento no compressor de ar	Significância estatística	NÃO

Fonte: Empresa objeto de estudo, 2019.

De acordo com o apresentado na Figura 43, foram analisadas três potenciais causas como as maiores responsáveis pelas paradas da máquina seladora de sacos:

Figura 43 – Diagrama de causa efeito das paradas na seladora de saco.



Fonte: Empresa objeto de estudo, 2019.

11. Falha no termopar. O termopar ou termostato é um equipamento que controla a temperatura da barra de selagem dos sacos, promovendo uma selagem adequada para as bolsas plásticas, Analisando o efeito desta barra de selagem nas paradas ou ineficiência da enchedora Klockner, verificou-se que ele representava 38% das falhas, logo esta causa não foi validada como causa-raiz;

12. Esteira subdimensionada para massa atual ($> 20\text{kg} < 30\text{kg}$), esta causa foi validada pois o equipamento havia sido projetado para trabalhar com no máximo 12kg de massa e atualmente ela estava trabalhando com até 30 kg.

13. Conjunto do Regusette, danificado (recondicionado), o regusseter é um sistema automático formado por um conjunto de pinças responsável por abrir os sacos dentro das caixas e ergue-los na forma ideal para serem selados, analisando-se os registros verificou-se que os problemas mecânicos existentes no regusseter, representavam 82 % das falhas, validando assim como uma causa-raiz.

Na Tabela 12, esta mostrando resumidamente quais causas foram validadas e quais as metodologias usadas para essas validações, como pode-se ver das três causas analisadas apenas duas foram validada, porém foram tomadas ações para a outra causa para evitar possíveis problemas de qualidade dos produtos.

Tabela 12 – Validação das causas raiz das paradas na seladora de saco.

Causa Raiz Potencial	Descrição	Método de Verificação	Confirmação causa-raiz
11	Falha no termopar	Dados históricos	NÃO
12	Esteira subdimensionada para peso atual ($>20\text{Kg} < 30\text{kg}$)	Dados históricos	SIM
13	Conjunto do Regusetter danificado	Dados históricos	SIM

FONTE: Empresa objeto de estudo, 2019.

4.6.4 Melhorar o Processo

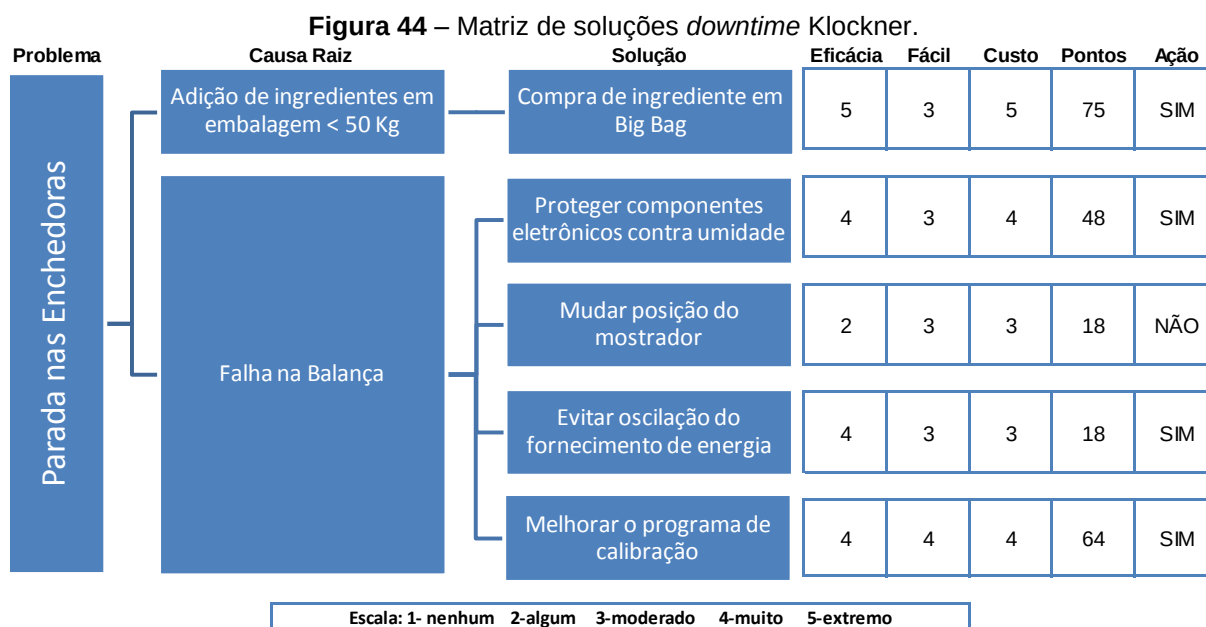
Aqui buscou-se identificar e selecionar soluções, analisar o custo/benefício, observando o risco, desenvolver planos de ação para implementação Total, desenvolver plano piloto, quantificar resultados do piloto, atualizar indicadores de saída de formas a atender todas as necessidades dos clientes, com o intuito de melhorar a eficiência operacional.

Para esta etapa as ferramentas da Manufatura Enxuta que apoiaram as análises das ações a serem implementadas e que ajudaram na melhoria dos processos foram: *Just in time*, Sistema Puxado, *Poka yoke*, *Heijunka*, TPM, *Kaizen*.

A matriz de seleção de soluções foi a ferramenta empregada para escolha das ações mais propícias e viáveis que seriam tomadas para eliminar as causas-raiz identificadas na etapa analisar do projeto.

São apresentadas nesta etapa as matrizes de seleção de soluções para os modos de falha: parada na enchedora, parada na esteira e parada na seladora de sacos.

Para as parada na enchedora, foram geradas quatro soluções para as causas-raiz identificadas através do diagrama de causa-efeito, a Figura 44 apresenta o problema, as causas-raiz, as possíveis soluções e a matriz de priorização, onde são analisados, três fatores, a eficiência de cada ação, a facilidade de implementação, e os custos desta ação. O resultado do produto desses três fatores é o que vai determinar se a ação será ou não implementada, quanto maior for o resultado deste produto maior é a prioridade de implementação da ação.

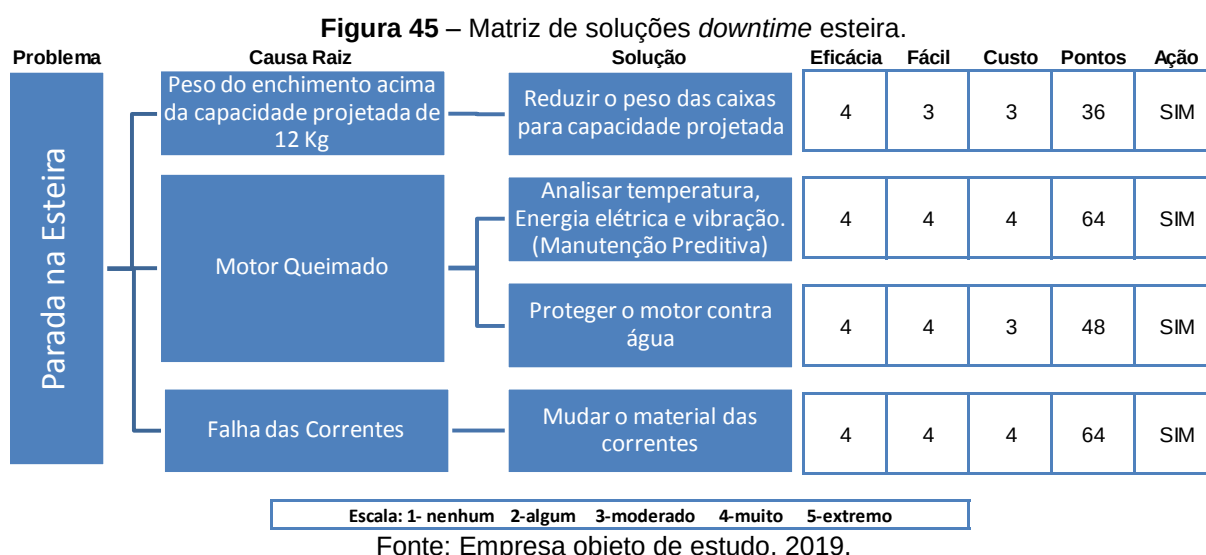


Fonte: Empresa objeto de estudo, 2019.

Das cinco soluções propostas, após o uso da matriz de seleção de soluções, foram implementadas quatro, pois a solução de mudança da posição do mostrador obteve uma pontuação baixa, quando se fez o produto dos três fatores.

Houve um trabalho conjunto entre a equipe do projeto, produção e área de compras de matérias-primas e onde foi possível comprar ingredientes em embalagens acima de 50kg. Com essas compras foram realizadas, obteve-se um ganho de 88% no tempo de abastecimento de ingredientes nos tanques, eliminando paradas na enchedora por causa do abastecimento de matéria-prima.

Para as paradas na esteira, foram geradas quatro soluções para as causas-raiz identificadas através do diagrama de causa-efeito, conforme mostra a Figura 45, nesta matriz todas as soluções avaliadas foram implementadas, pois o produto dos três fatores ficou elevado.



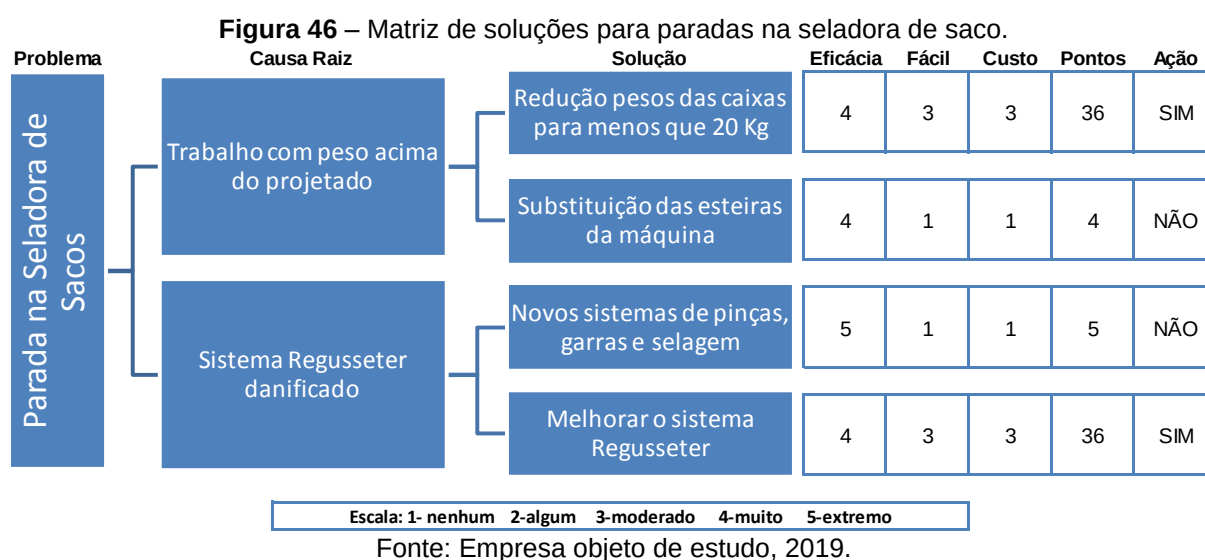
Para a causa-raiz, massa de enchimento acima da capacidade projetada de 12kg, houve um trabalho da área de pesquisa da companhia para reduzir os tamanhos dos produtos de forma que o equipamento trabalhasse dentro dos limites para o qual o mesmo foi projetado, com isso houve uma redução das massas das embalagens, diminuiu as avarias na área de armazenagem e facilitou o manuseio destas caixas pelo operadores.

Para a causa-raiz, queima do motor, foi reanalisada a forma de como era feita a manutenção deste equipamento, pois não havia uma lista de verificação deste equipamento e as manutenções eram feitas corretivas que preventivas. Portanto foi desenvolvida uma lista de verificação onde semanalmente os técnicos de manutenção fazem uma análise do equipamento e realizam manutenção preventiva, também os operadores receberam treinamentos em TPM e os mesmo aos perceberem qualquer alteração nos equipamentos fazem uma vistoria, lubrificação e

quando não conseguem resolver algum problema acionam a área de manutenção, além destas ações foi adquirido um motor reserva para substituição imediata caso o motor em uso venha a queimar.

Para a causa-raiz, quebra das correntes das esteiras, foi adquirida uma corrente de aço inox com mais flexibilidade mais resistente ao ataque químico dos produtos que são manuseados nas salas de produção e também foi criada uma rotina de inspeção mensal para avaliar a necessidade de manutenção ou troca das correntes.

Para o problema de parada na seladora de sacos, foram analisada duas possíveis causas-raiz as quais geraram quatro possíveis soluções através do diagrama de causa-efeito, porém na matriz de seleção de soluções somente duas soluções foram validadas para a implementação, conforme mostra a Figura 46.



Para a solução da esteira trabalhar com massa acima da capacidade projetada para o equipamento, houve um trabalho da equipe do projeto junto à área de pesquisa da companhia para reduzir os tamanhos das embalagens dos produtos de forma que o equipamento trabalhasse dentro dos limites para o qual o mesmo foi projetado, isso gerou uma redução das massas dos produtos, diminuiu as avarias na área de armazenagem e facilitou o manuseio destas caixas pelos operadores.

Na busca da solução para a causa-raiz, Sistema *Regusseter* danificado, a área de manutenção elaborou um projeto, onde incluiu a visita do fabricante as instalações da empresa para dar suporte técnico para efetuar as mudanças necessárias que possibilitem a melhoria do desempenho do equipamento.

Para ações como redução de tamanhos de produtos e ordem de produção, foi necessário um trabalho com a área de planejamento de forma a balancear a programação de produção para torná-la mais adequada às novas condições de trabalho das salas de produção. Utilizou-se dos conceitos de *Heijunka* e da teoria das restrições de forma que a produção passou a ser programada com base nas restrições do sistema.

Nesta etapa foram utilizadas ferramentas da Manufatura Enxuta que contribuíram para o desempenho da sala de produção de parte sólida, como descrito a seguir: *just in time*, *Kanban*, FMEA e eventos *Kaizen*.

Para cada problema foi criada uma equipe de trabalho de FMEA, para analisar possíveis modos de falhas e seus efeitos sobre o desempenho da produção, como uma forma de validar cada ação que estava sendo implementada.

Criou-se um sistema *just in time* integrado ao *Kanban* para as salas de produção sólida e líquida, para suprimentos de caixas, bombonas e palletes, com isto o estoque na fábrica que era de até um mês foi reduzido para um dia de estoque.

Essas mudanças foram possíveis devido ao trabalho de desenvolvimento de fornecedores locais, pela Empresa objeto de estudo. O fornecimento de bombonas que era em São Paulo, passou para a cidade onde a Empresa objeto de estudo é sediada, além desta redução de estoque o *Kanban*, possibilitou a redução brusca de área para armazenagem desses materiais que por suas características são volumosos, além da eliminação dos fretes que a Empresa objeto de estudo pagava para colocar esses produtos em sua fábrica.

Foram realizadas 19 reuniões com o time de implementação e as áreas produtivas da Empresa objeto de estudo. para realização dos mapas de fluxo de valor, destas e observações *in loco* os seguintes mapeamento do fluxo de valor (Value Stream Mapping - VSM) foram realizados:

1. VSM geral;
2. Serviço ao Cliente;
3. Estoque de material;
4. Estoque de produto acabado;
5. Produção;
6. Recebimento de caminhões tanques;
7. Expedição.

4.6.5 Controlar o Processo

Nesta etapa o objetivo principal é controlar o processo para manter os ganhos e a transição para a implementação completa de todas as ações propostas nas etapas anteriores.

A padronização é o que permite que a qualidade aconteça em uma base confiável e sustentável. Com ela tem-se certeza de que os elementos importantes de um processo são desempenhados de forma consistente e da melhor maneira possível e que as mudanças devem ser feitas apenas quando os dados mostram que uma nova alternativa é melhor e toda mudança nos padrões deve ser documentada.

Após as padronizações o passo seguinte foi o de prover treinamento para as equipes operacionais nesses novos métodos de trabalho, pois somente com as pessoas treinadas pode-se dar sustentação a este projeto, os operadores também foram treinados em coletas de dados e preparação dos indicadores de maneira a atuarem ativa e preventivamente nos processos.

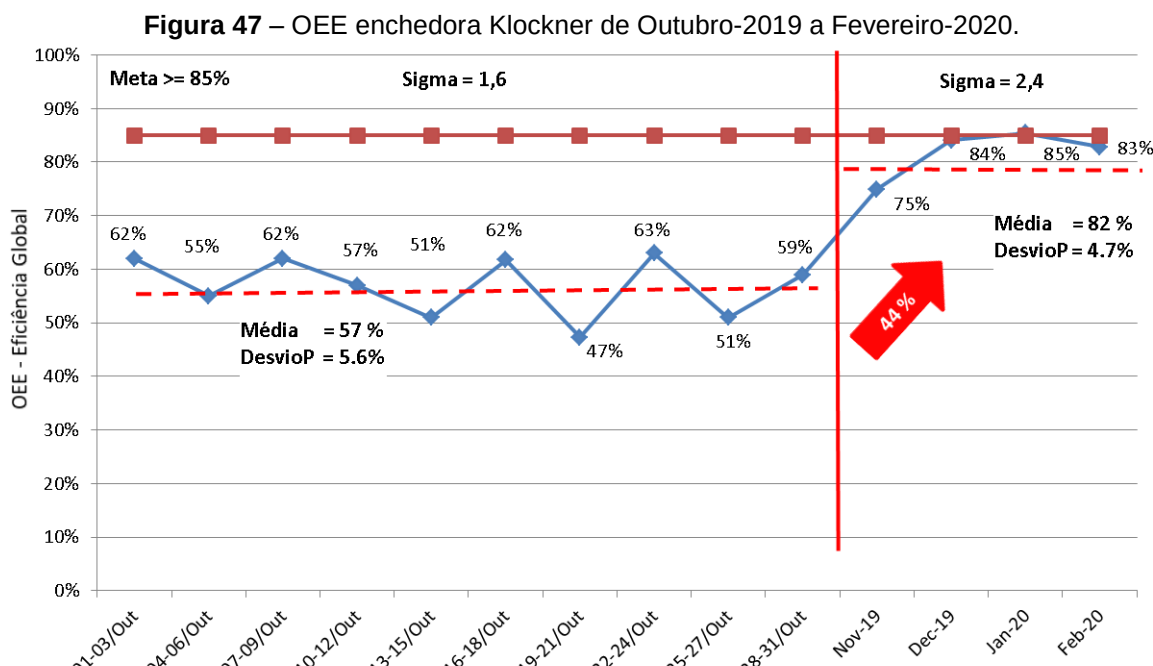
O plano de controle para este projeto foi a aquisição do TMA para utilização permanente pela Empresa objeto de estudo, desta forma a telemetria irá coletar e monitorar os dados *on line* dos indicadores de desempenho. Como forma de manter os ganhos obtidos no projeto. Adicionalmente foi instalado um painel de gerenciamento visual próximo das áreas de produção de forma que os funcionários tenham acesso às informações dos indicadores e possam ver como seu trabalho está influenciado cada indicador.

4.7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após as implementações das ações propostas, na fase anterior, iniciou-se as avaliações para confirmar se os resultados obtidos estavam de acordo com os esperados, para isto foram analisadas as ações tomadas:

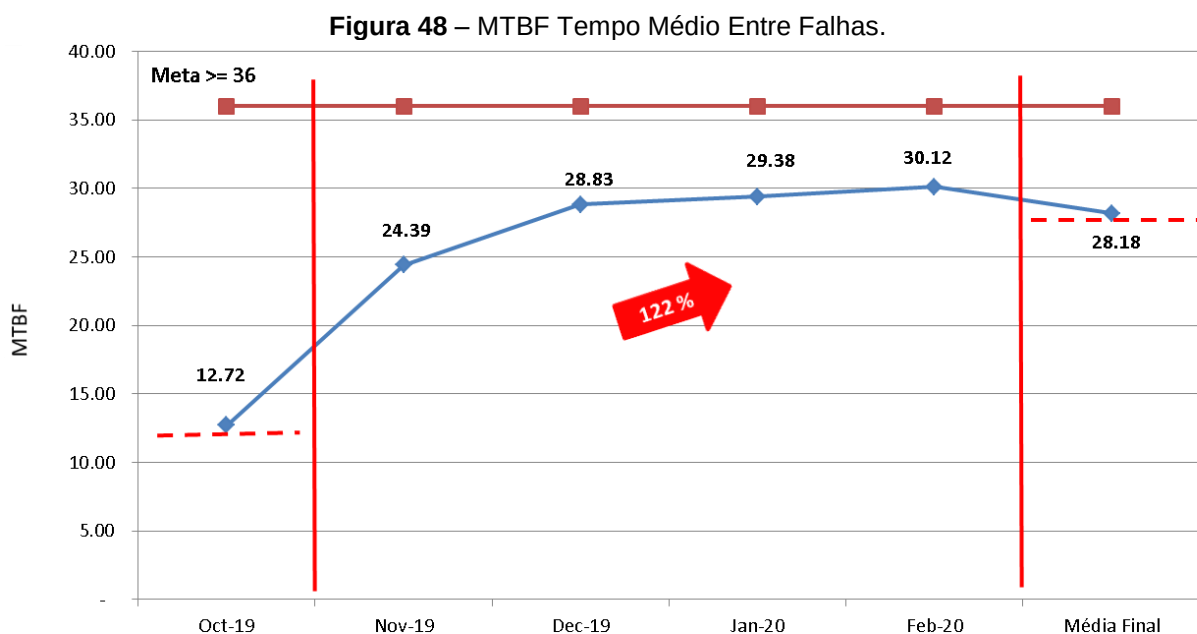
O OEE da Sala da Klockner que tinha uma média de 57% de eficiência e um desvio padrão de 5,6%, após as ações de melhorias, conforme Figura 47, elevou para 82% de eficiência e reduziu a variação do desvio padrão para 4,7%. O que representou uma melhora de 44% neste indicador e também o sigma da eficiência

do processo que era de 1,6 foi para 2,4 sigma, mostrando que as ações tomadas foram muito benéficas para o processo.



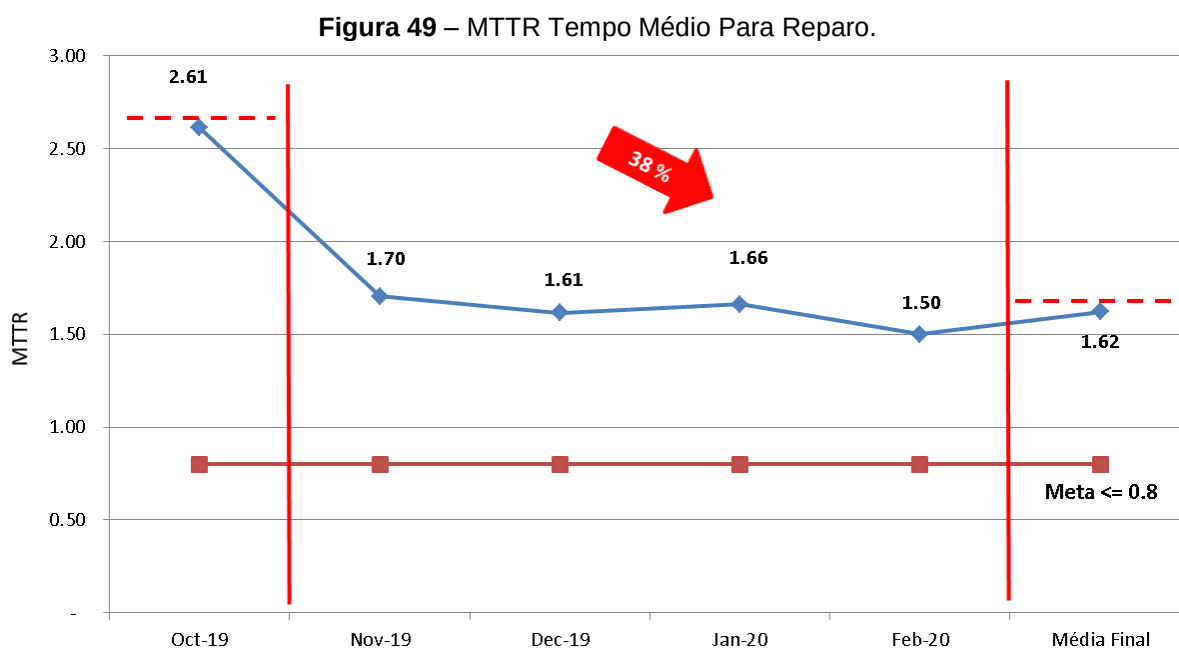
Fonte: Empresa objeto de estudo – dados colhidos via TMA, 2020.

Para o indicador do Tempo Médio Entre Falhas (MTBF), Figura 48, saiu de 12,72 horas e passou para 28,18 horas, não atingindo o objetivo que havia sido estabelecido de 36 horas, todavia obteve uma melhoria neste indicador na ordem de 122%, que foi muito expressiva para empresa.



Fonte: Empresa objeto de estudo – dados colhidos via TMA, 2020.

Já o indicador do Tempo Médio Para Reparo (MTTR), Figura 49, ficou em média 1,62 hora também não alcançando o objetivo estabelecido pela equipe de melhoria que era ser menor que 0,8 hora. Todavia obteve uma melhoria neste indicador na ordem de 38%, que foi muito expressiva para empresa.



Na Tabela 13, pode-se visualizar os resultados obtidos com as ações implementadas e quanto de melhoria cada KPI obteve com essas ações.

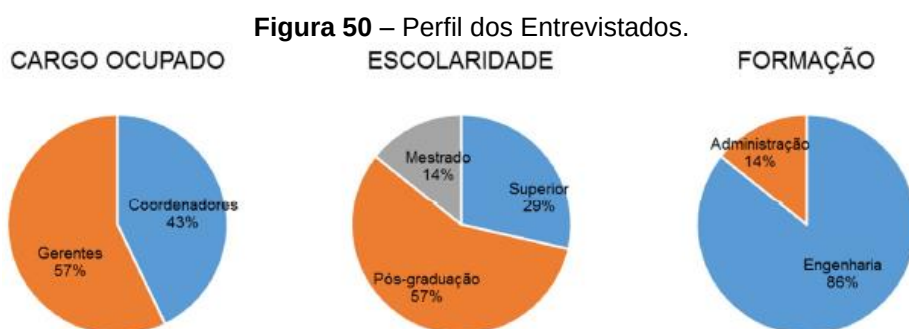
Tabela 13 – Resultados da implementação do TMA.

KPI	Valor Inicial 1-Oct-19	Valor Final 28-Feb-20	% Melhoria
OEE Klocker	57%	82%	44%
Sigma do processo	1.6	2.4	50%
MTBF (h)	12.72	28.18	122%
MTTR (h)	2.61	1.62	38%

Fonte: Empresa objeto de estudo – dados colhidos via TMA, 2020.

4.8 AVALIAÇÃO DO TMA

O objetivo dessa etapa é de julgar se o TMA proposto e aplicado é adequado para aumentar a produtividade da empresa estudo de caso. Para coleta de dados, optou-se pela técnica de entrevistas, pois conforme salientam (MARCONI, M. A.; LAKATOS, 2010), essa é uma técnica recomendada para descobrir se as pessoas são capazes de compreender os fatos e também conhecer o que pensam sobre ele. Além disso, entrevistas oferecem várias vantagens, pois permitem esclarecer e especificar algum significado, observar reações e obter dados que não estão em fontes documentais. Nessa etapa, foram consultados 7 pessoas empresa objeto de estudo: o Gerente de Planejamento da Produção, Gerente P&D, Gerente de Engenharia, Gerente de Operações, o Coordenador de SGI, o Coordenador de Excelência Operacional e o Coordenador de Engenharia. O perfil dos entrevistados é apresentado na Figura 50.

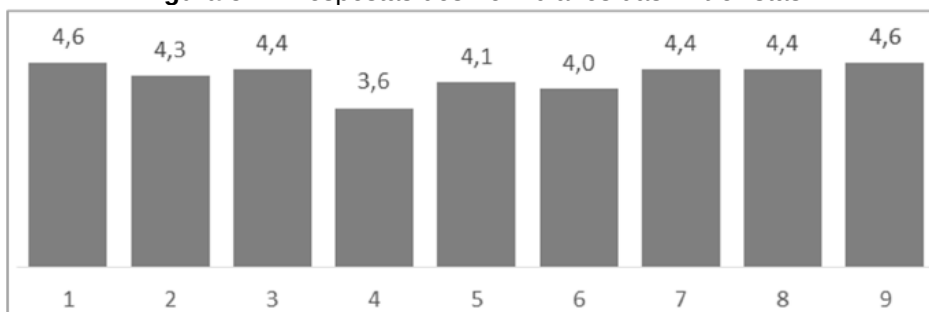


Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

As entrevistas foram realizadas individualmente e via plataforma *on-line*, no formato semiestruturada focada e com duração média de uma hora segundo a metodologia proposta por (YIN, 2005). Os primeiros 20 minutos foram dedicados à uma explanação do TMA e os resultados da fase de implantação. O tempo restante foi utilizado para conhecer a opinião dos entrevistados. Nessa modalidade, foram feitas perguntas abertas que puderam ser respondidas dentro da conversação guiada pelo roteiro de tópicos (ANEXO I) relativos ao projeto, assim como propõem (MARCONI, M. A.; LAKATOS, 2010). Para cada um dos tópicos foi solicitado aos entrevistados que respondessem as perguntas numericamente justificando a pontuação com um comentário. Para a pontuação, utilizou-se a escala likert de 1 a 5, sendo 1 discorda completamente e 5 concorda plenamente. O roteiro de tópicos foi

elaborado a partir da revisão da literatura, das pistas sobre os fenômenos observados na fase de ajustes do modelo de maturidade e auditoria da planta estudo de caso. As respostas dos formulários estão dispostas na Figura 51. Como base de comparação, era possível que os entrevistados consultassem os resultados e as bases das fases do DMAIC durante o projeto.

Figura 51 – Respostas dos Formulários das Entrevistas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Pergunta 1: As tecnologias habilitadoras do TMA promovem o entendimento do que precisa ser feito?

A avaliação das respostas para essa pergunta gerou um *score* de 4,6. Com essa pontuação entende-se que as tecnologias habilitadoras empregadas no projeto do TMA na empresa estudo de caso ajudaram a promover o entendimento e a adoção dos conceitos da manufatura avançada.

Pergunta 2: Os conceitos de manufatura enxuta do TMA auxiliam na implementação?

A avaliação das respostas para essa pergunta gerou um *score* de 4,3. Com essa pontuação entende-se que os conceitos de manufatura enxuta empregados no TMA auxiliaram no sucesso da implementação do projeto.

Pergunta 3: As tecnologias habilitadoras do TMA promovem o entendimento das diferenças entre o que era feito e o que passou a ser feito?

A avaliação das respostas para essa pergunta gerou um *score* de 4,4. Com essa pontuação entende-se que as tecnologias habilitadoras no TMA auxiliaram na percepção de agregação de valor pelo projeto.

Pergunta 4: Os indicadores de performance selecionados mostram-se pertinentes ao processo produtivo da empresa?

A avaliação das respostas para essa pergunta gerou um *score* de 3,6. Com essa pontuação entende-se que os indicadores de *performance* empregados no TMA mostraram-se pertinentes ao processo produtivo, no entanto, por ser a pontuação mais baixa da pesquisa, indica que existe a oportunidade de implementação futura de indicadores adicionais neste processo.

Pergunta 5: Os resultados da implementação na Enchedora Klockner, estão de acordo com as suas expectativas?

A avaliação das respostas para essa pergunta gerou um *score* de 4,1. Com essa pontuação entende-se que os resultados produzidos pelo TMA na enchedora Klockner atenderam as expectativas da empresa.

Pergunta 6: Os resultados da implementação na Montadora de Caixas, estão de acordo com as suas expectativas?

A avaliação das respostas para essa pergunta gerou um *score* de 4,0. Com essa pontuação entende-se que os resultados produzidos pelo TMA na montadora de caixas atenderam as expectativas da empresa.

Pergunta 7: Os resultados da implementação na Seladora de Sacos, estão de acordo com as suas expectativas?

A avaliação das respostas para essa pergunta gerou um *score* de 4,4. Com essa pontuação entende-se que os resultados produzidos pelo TMA na seladora de sacos atenderam as expectativas da empresa.

Pergunta 8: O Template de Manufatura Avançada, TMA, é adequado para proporcionar aumento de produtividade para a planta estudo de caso ?

A avaliação das respostas para essa pergunta gerou um *score* de 4,4. Com essa pontuação entende-se que o aumento de produtividade produzido pelo TMA na planta estudo de caso atendeu as expectativas da empresa.

Pergunta 9: O Template de Manufatura Avançada, TMA, é adequado para proporcionar aumento de produtividade para outras plantas do grupo?

A avaliação das respostas para essa pergunta gerou um *score* de 4,6. Com essa pontuação entende-se que o aumento de produtividade produzido pelo TMA na planta estudo de caso possui capacidade de proporcionar incremento de produtividade em outras plantas do grupo.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho focalizou os aspectos técnicos de implementação de tecnologias da Manufatura Avançada, da filosofia da Manufatura Enxuta junto com a metodologia Seis Sigma incorporados em um *template* de *hardware* e *software*, denominado de TMA, em uma indústria de alimento. Nesta abordagem foi possível desenvolver uma pesquisa detalhada das ferramentas que compõe a Manufatura Avançada, Manufatura Enxuta e a metodologia Seis Sigma, para que no processo produtivo da empresa analisada, os desperdícios e variações de processos fossem devidamente identificados e posteriormente eliminados, muito mais rápido do que se as medições fossem realizadas sem o emprego das tecnologias habilitadoras.

O estudo de caso partiu da aplicação das tecnologias da Manufatura Avançada, da filosofia da Manufatura Enxuta e das ferramentas DMAIC do Seis Sigma, desdobrada nas fases definir, medir, analisar, melhorar e controlar. Em cada fase foram utilizadas as ferramentas mais adequadas de acordo com a literatura existente. Através da aplicação do DMAIC e das ferramentas usadas na Manufatura Enxuta foi possível determinar e quantificar os principais defeitos e em quais processos havia mais desperdícios, como também analisar suas causas para o estabelecimento de ações de melhoria.

Por meio do estudo de caso foi possível descrever a metodologia de implementação da filosofia da Manufatura Avançada, Manufatura Enxuta e Seis Sigma na empresa objeto do estudo, possibilitando uma visão sequencial dos passos a serem desenvolvidos no planejamento de cada etapa do projeto. Pode-se observar que a implementação do modelo de produção enxuta não é apenas um modelo diferenciado de produção, e sim uma mudança em toda a cultura da organização, e quando em conjunto com a metodologia Seis Sigma pode ser uma forma de gerenciar todo o sistema produtivo eliminando os desperdícios e reduzindo as variações dos processos.

Para a implementação da Manufatura Avançada, Manufatura Enxuta e Seis Sigma deve-se selecionar a equipe responsável por esta implementação e provê-los de todos os recursos necessários de forma que se sintam “donos” dos processos e tenham um bom desempenho de suas atividades e possam lograr ótimos resultados. Ao final de cada etapa da implementação deve haver uma avaliação pela equipe e pessoal gerencial para discutirem os aprendizados e propor novas ideias. Devem-se

reconhecer os integrantes da equipe para mantê-los motivados para novos desafios. Entregar os processos aos responsáveis para que os mesmos mantenham tudo que foi implementado no projeto, sem deixá-lo retroceder.

Graças à pesquisa, torna-se possível conhecer como deve ser um TMA para uma empresa do setor de alimentos. O TMA proposto foi definido por três parâmetros (*hardware*, *software* e método de implantação) os quais são ajustados às peculiaridades da empresa objeto do estudo, isso é, o TMA contém apenas as práticas e indicadores de *performance* que fazem sentido nesse contexto.

Constatou-se, após a pesquisa do estado da arte, que o TMA deve necessariamente ou minimamente possuir as seguintes tecnologias habilitadoras: *IoT*, *Cloud Computing* e *Vertical Integration*, para ser considerado aderente aos conceitos da Manufatura Avançada pesquisados na literatura.

Verificou-se que durante a construção do TMA foi possível conectar os dois aspectos da arquitetura do *template*: a etapa de *hardware* e *software* envolvidos no projeto; bem como a seleção das tecnologias empregadas em cada um dos três níveis do conceito: no nível *Industrial Machine* foi utilizado o sensor da marca Balluf, no nível TMA Device foi utilizado o *Advantech WISE-4050* e no nível TMA *Management Center* foi desenvolvido um aplicativo em linguagem *Python* e banco de dados SQL para o gerenciamento das informações coletadas.

Observou-se que após a aplicação do TMA na empresa objeto de estudo, foram produzidos resultados quantitativos que além de cumprir o objetivo do estudo de caso, a aplicação do TMA em si, validou as duas hipóteses elencadas: a primeira hipótese foi validada pelo aumento de produtividade no processo, apresentando uma melhora no índice OEE de 57% para 82%, que representa um aumento na excelência operacional de 44%. A segunda hipótese também foi validada pela aplicação do TMA para melhoria do desempenho de outros processos, outras máquinas similares a Klockner na área de enchimento de sólidos, fato este, decorrente dos resultados positivos obtidos no experimento de envase.

Já em ganhos qualitativos verificou-se a elevação do nível técnico dos membros da equipe envolvida no projeto após a implementação dos treinamentos e da mudança de cultura com relação à eliminação de perdas inerentes ao processo. Houve quebra de paradigma com relação à melhoria e otimização do *Setup* no início do projeto, uma vez que durante anos se acreditou não ser possível realizá-lo mais rápido.

A aplicação do questionário de avaliação do TMA junto aos gestores da empresa objeto de estudo, influenciou o negócio da empresa e causou impacto relevante na excelência operacional do processo produtivo.

O entendimento destas ferramentas permitiu a elaboração de um mapa de fluxo de valor do estado atual e também deu orientação para que o mapa de fluxo de valor futuro fosse estabelecido, gerando a proposição de um roteiro devidamente enxuto e com poucas variações nos processos produtivos. Este roteiro pode ser aplicado em toda a cadeia produtiva independente do segmento de negócio da empresa, devendo-se cada empresa avaliar sua realidade.

CONTRIBUIÇÕES

Finalmente observamos que o resultado obtido pode ser visto como uma fonte de consulta tanto por estudiosos da área como por empresários que estejam comprometidos com a melhoria contínua de seus processos e com a competitividade dos seus produtos.

TRABALHOS FUTUROS

Com a experiência adquirida nesta pesquisa e com base nos resultados alcançados pode-se propor algumas recomendações para trabalhos futuros, que serão apresentadas a seguir:

- Utilizar os dados históricos armazenados no *Big Data* para predição de eventos baseados nas sazonalidades e padrões que poderão ser identificados através de *Machine Learning*, *Deep Learning* e algoritmos específicos;
- Realizar uma pesquisa mais abrangente, em indústrias semelhantes, não se restringindo a apenas um caso de aplicação da abordagem estudada, o que não invalida este;

RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES DO PROJETO

As restrições e limitações identificadas no desenvolvimento deste trabalho ocorreram em parte no início do projeto, e outras detectadas na medida em que o trabalho evoluía, tornando assim, o processo de implementação gradualmente dificultoso, fato este se torna mais comum quando se aplica a metodologia pela primeira vez. As principais restrições e limitações encontradas são descritas a seguir, e não necessariamente obedecem a uma ordem cronológica, pois se pode evidenciar um mesmo tipo de limitação ao longo da pesquisa do experimento.

As seguintes limitações identificadas durante o projeto:

- A questão cultural relativa à aceitação da metodologia do projeto;
- Os dados coletados foram considerados não normais na análise estatística, limitando assim a aplicação de algumas ferramentas de

qualidade para o desenvolvimento da análise e definição de melhorias para o problema explorado;

- O processo de comunicação entre os turnos de trabalho gerava diferentes interpretações da metodologia gerando frentes de trabalho com energias e atuações diferentes;
- O modelo de trabalho adotado pela empresa levava em consideração que os funcionários incorporassem as atividades e ações que a metodologia demandava adicionalmente as atividades rotineiras.

REFERÊNCIAS

- ABIA. **Relatório Anual 2019**. São Paulo: Associação Brasileira da Indústria de Alimentos, 2019.
- ACATECH. **Cyber-physical systems**. Acatech: Acatech Position Paper, 2011.
- AEVA. **Wonderware MES Software**. [s.l.] <http://global.wonderware.com/>, 2020.
- AZEVEDO, M. T. **Transformação Digital na Indústria: Indústria 4.0 e a rede de água inteligente no Brasil**. Tese de Doutorado: USP, 2017.
- BANDYOPADHYAY, D.; SEN, J. **Internet of things: Applications and challenges in technology and standardization**. 58. ed. [s.l.] Wireless Personal Communications, 2011. v. 58
- BANKS, A.; GUPTA, R. **OASIS Standard MQTT Version 3.1**. [s.l: s.n.].
- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. 70. ed. [s.l.] Lisboa, 1997.
- BOSH. **Bosh Packaging Technology**. [s.l.] <http://www.boschpackaging.com/en/pa/services/aftersales-%0A services/oe consulting/oe consulting.html>, 2020.
- BRITO, F. O. **A manufatura enxuta e a metodologia seis sigma em uma indústria de alimento**. Manaus, Amazonas.: UFAM, 2008.
- BUGHIN, J. et al. **Clouds, big data, and smart assets: Ten tech-enabled business trends to watch**. McKinsey Quarterly: McKinsey Global Institute, 2010.
- BUNSE, B.; KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W. **Industrie 4.0, Smart Manufacturing for the Future. Report**. [s.l.] Disponível em: <<http://www.gtai.de>>, 2014.
- CAPGEMINI. **Smart factory survey**. February-M ed. [s.l.] Capgemini Digital Transformation Institute, 2017.
- CATER, G. **Service Oriented Architecture (SOA)**. The Open Group: Disponível em: <http://www.opengroup.org/projects/soa>, 2010.
- CAVOUKIAN, A. **Privacy in the clouds**. Information and Privacy Commission of Ontario: [s.n.]. v. 1
- CNI. **Pesquisa cenário da indústria 4.0 no Brasil**. São Paulo: Confederação Nacional da Indústria, 2016.
- CORONADO, R. B.; ANTONY, F. **Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organisations**. [s.l.] The TQM Magazine, 2002. v. 14
- CUNHA, M. J. DA ET AL. **roposal for an iot architecture in industrial processes**.

In: **IEEE**. Industry Applications (INDUSCON): IEEE International Conference on, 2016.

DIKAIKOS, M. D. et al. **Cloud computing: Distributed internet computing for IT and scientific research**. [s.l.] ., 2009. v. 13

DOMINGO, R. ET AL. **Materials flow improvement in a lean assembly line: a case study**. 27. ed. [s.l.] Assembly Automation, 2007.

ECKES, G. **A Revolução Seis Sigma: o método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucro**. Rio de Janeiro: Editora Campos, 2001.

FALLER, C.; FELDMÜLLER, D. **Industry 4.0 learning factory for regional SMEs**. [s.l.] Elsevier, 2015. v. 32

FERREIRA, F. P. **Análise Da Implantação De Um Sistema De Manufatura Enxuta Em Uma Empresa De Autopeças**. São Paulo: Dissertação Mestrado em Gestão e Desenvolvimento Regional do Departamento de Economia, Contabilidade e Administração – da Universidade de Taubaté., 2004.

FOSTER, I. et al. **Cloud Computing and Grid Computing 360-degree compared**. Grid Computing Environments Workshop: IEEE, 2008.

FREITAS, W.R.S.F; JABBOUR, C. J. C. **O estudo de caso(s) como estratégia de pesquisa qualitativa: fundamentos, roteiro de aplicação e pressupostos de excelência**. São Carlos: XXX Encontro nacional de Engenharia de Produção, 2010.

GE. **Software Proficy OEE**. [s.l.] <http://www.ge-ip.com/products/manufacturing-software-mes.>, 2020.

GONÇALVES FILHO M.; CAMPOS, F.C. ;ASSUMPÇÃO, M. R. P. **Systematic literatura review with bibliometric analysis on Lean Strategy and manufacturing in industry segments**. 23(2) ed. [s.l.] Gestão e Produção, 2016.

GOECKY, D. ET AL. **Human machine interaction in the industry 4.0 era**. 12. ed. IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN): IEEE Computer Society, 2014.

GREEN, J.C.; LEE, J.; KOZMAN, T. A. **Managing lean manufacturing in material handling operations**. 48. ed. [s.l.] International Journal of Production Research, 2010.

GRUNER, S.; PFROMMER, J.; PALM, F. **A RESTful extension of OPC UA**. Proceedings of 2015 IEEE World Conference on Factory Communication Systems (WCFS): IEEE, 2015. v. 2015-July

GUBBI, J. et al. **Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions**. 29. ed. [s.l.] Elsevier, 2013. v. 29

HARRY, M. J. **Abatement of business risk is key to Six Sigma: A Closer Link to Executive Thinking**. [s.l.] Quality Progress, 2000. v. 33

HENRY, F. C. R. J. R. **Telemetry Systems Engineering**. Norwood, MA: Artech House telecommunications library, 2002.

HONLE, N. ET AL. **Benefits of integrating metadata into a context model**. 3. ed. [s.l.] IEEE Computer Society, 2005.

HUANG, J. et al. **A novel deployment scheme for green internet of things**. 1. ed. [s.l.] IEEE Internet of Things Journal, 2014. v. 1

IS. **Sistemas de da qualidade. Requisitos (ISO 9001:2008)**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008. v. 406

J., H.-A. L.; B., B.; KAO. **A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems**. [s.l.] Manufacturing Letters, 2015. v. 3

JONES, D.; WOMACK, J. **Seeing the whole value stream: Mapping the extended value stream**. Dearborn, MI: Transparências apresentadas no Lean Manufacturing Conference, 2000.

JUELS, A. **RFID security and privacy: A research survey**. 24. ed. [s.l.] IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2006. v. 24

KAGERMANN, H.; WOLFGANG, W.; HELBIG, J. **Securing the future of German manufacturing industry. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Final report of the Industrie 4.0 Working Group**. [s.l.: s.n.].

KANG, H.S., LEE J.Y., CHOI S., K. H. **Smart Manufacturing: past research, present findings and future directions**. [s.l.] International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, 2016.

KELLER, M. et al. **How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective**. 8. ed. World Academy of Science, Engineering and Technology: International journal of mechanical, aerospace, industrial and mechatronics engineering, 2014. v. 8

KULVATUNYOU, B.; IVEZIC, N.; SRINIVASAN, V. **On Architecting and Composing Engineering Information Services to Enable Smart Manufacturing**. 22. ed. Procedia CIRP: Elsevier, 2016. v. 16

L. ATZORI, A. IERA, AND G. M. **The internet of things: A survey**. **Computer Networks**. 54. ed. Elsevier: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking archive Volume, 2010. v. 54(15)

L., C. W.; YANG. **A solution of manufacturing resources sharing in cloud computing environment**. Lecture notes in computer science (including subseries lecture notes in artificial intelligence and lecture notes in bioinformatics): Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. v. 6240 LNCS

LAMPKIN, V. et al. **Building Smarter Planet Solutions with MQTT and IBM WebSphere MQ Telemetry**. [s.l.] IBM Redbooks, 2012.

LIKER, J. K. **O Modelo Toyota: 14 Princípios de Gestão do Maior Fabricante do Mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

LINKER, JEFFREY, MEIER, D. **O MODELO TOYOTA Manual de aplicação**. Porto Alegre: Bookman, 2007.

LONDON-ELECTRONICS. **Digital Panel Meter**. [s.l.] <http://www.london-electronics.com/digital-panel-meteroe.%0Aphp>., 2020.

LYNCH, D. P.; BERTOLINO, S.; CLOUTIER, E. **How to scope DMAIC projects**. [s.l.: s.n.]. v. 36

MAASOUMAN, M. A. **Development of Lean Maturity Model for Operational Level Planning**. Montreal, Canada.: Concordia University, 2014.

MACDOUGALL, W. **Industrie 4.0 - Smart Manufacturing for the Future**. [s.l.] Disponível em: <http://www.gtai.de>, 2014.

MACHADO JUNIOR, R. R. **Desenvolvimento de um middleware para comunicação via web services e sua aplicação em sistemas de aquisição de dados industriais**. Natal-RN: Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e de Computação da UFRN, 2014.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos da metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2010.

MARCOS A. PISCHING et al. **an Architecture for Organizing and Locating Services To the Industry 4.0**. 23. ed. COBEM2015 - 23rd ABCM International Congress of Mechanical Engineering: ABCM, 2015.

MARR, B. **What Everyone Must Know About Industry 4.0**. [s.l.] Disponível em: <<http://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2016/06/20/what-everyone-must-know-about-industry-4-0/#327956184e3b>>., 2016.

MELL, P.; GRANCE, T. **The NIST definition of cloud computing: Recommendations of the National Institute of Standards and Technology**. 53. ed. [s.l.] ., 2012.

MONOSTORI, L. **Cyber-physical production systems: Roots, expectations and r&d challenges**. 17. ed. Procedia CIRP: Elsevier, 2015.

MOODY. **Moody Automation and OEEsystems**. [s.l.] <http://www.moodyautomation.co.uk/oe.html>, 2020.

MUKHERJEE, M. et al. **A vision of IoT: Applications, challenges, and opportunities with dehradun perspective**. 1. ed. [s.l.] IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL, 2017. v. 479

NAKAJIMA, S. **Introduction to Tpm: Total Productive Maintenance**. [s.l.] Productivity, 1988.

NAVE, P. D. **Como comparar o Seis Sigma , o Lean e a Teoria das Restrições**.

[s.l.] Artigo disponível em <http://www.setecnet.com.br>. Acessado em 10/09/2019, 2002.

NETLAND, T. H.; FERDOWS, K. **What to Expect From a Corporate Lean Program**. 55. ed. [s.l.] MITSloan Management Review, 2014.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Producao Alem Da Producao**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OKIMURA, L. I. **Uma exploração dos modelos de uso integrado da Teoria das Restrições, Produção Enxuta e Seis Sigma**. Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2013.

PALLIS, G. **Cloud computing: The new frontier of internet computing**. 14. ed. IEEE Internet Computing: IEEE, 2010. v. 14

PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. **Estratégia seis sigma: como a GE, Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2007.

PARMENTER, D. **Key Performance Indicators: Developing, Implementing, and Using Winning KPIs**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2007.

POTDAR, V.; SHARIF, A.; CHANG, E. **Wireless sensor networks: A survey**. 38. ed. [s.l.: s.n.].

RIMAL, B. P. et al. **Architectural Requirements for Cloud Computing Systems: An Enterprise Cloud Approach**. 9. ed. Journal of Grid Computing: Springer, 2011. v. 9

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate muda**. Cambridge: Lean Enterprise Institute, 2003.

RYAN, M. D. **Viewpoint cloud computing privacy concerns on our doorstep**. 54. ed. Communications of the ACM: ACM, 2011. v. 54

S. C., A. M.; MONDAL. **Identification of a company's suitability for the adoption of cloud computing and modelling its corresponding Return on Investment**. [s.l.] ., 2011. v. 53

SAHA, A. K. et al. **IOT-based drone for improvement of crop quality in agricultural field**. IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC): Disponível em: <https://doi.org/10.1109/CCWC.2018.8301662>, 2018. v. 2018-Janua

SCHONWALDER, J. et al. **Future Internet = content + services + management**. [s.l.] ., 2009. v. 47

SCHWAB, K. **The Global Competitiveness Report (2017–2018)**. Geneva: World Economic Forum, 2018.

SETEC. **Apostila Setec Consulting Group Treinamento Black Belt, Lean Six**

Sigma. [s.l: s.n.].

SHALINI, S. **Smart Manufacturing With Cloud Computing (Part 2) | Sramana Mitra.** One Million: Disponível em: <http://www.sramanamitra.com/2010/12/03/smart-manufacturing-with-cloud-computing-part-1/>, 2010.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Producao Do Ponto.** 2. ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 1996.

SHINOHARA, I. **New Production System: JIT Crossing Industry Boundaries.** [s.l: s.n.].

SILVA, E.L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação.** 4. ed. Florianópolis, Santa Catarina: UFSC, 2005.

SINGH, B. ET AL. **Lean implementation and its benefits to production industry.** 1. ed. [s.l.] International Journal of Lean Six Sigma, 2010.

SNEE, R. D.; HOERL, R. W. **Six sigma beyond the factory floor.** New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005.

SZTIPANOVITS, J. et al. **Foundations for innovation: Strategic R&D opportunities for 21st century cyber-physical systems.** Report of the Steering Committee for Foundations and Innovation for Cyber-Physical: Disponível em: <http://events.energetics.com/NIST-CPSWorkshop/pdfs/12_Cyber_Physical_Systems02-01-13_final.pdf>, 2012.

TADEU, H. F. B.; SANTOS, E. S. DOS. **O que seria a Indústria 4 .0?** [s.l.] Boletim: Fevereiro/2016, Pesquisa sobre digitalização, 2016.

TAJ, S.; BERRO, L. **Application of constrained management and lean manufacturing in developing best practices for productivity improvement in an auto-assembly plant.** 55. ed. [s.l.] International Journal of Productivity and Performance Management, 2006.

TOBERGTE, D. R.; CURTIS, S. **Criando a Cultura Seis Sigma.** Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2013. v. 53

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. **Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management.** 14(3) ed. [s.l.] British Journal of Management, 2013.

VARGAS, D. C. Y.; SALVADOR, C. E. P. **Smart IoT gateway for heterogeneous devices interoperability.** 14. ed. IEEE Latin America Transactions: [s.n.]. v. 14

W3C. **W3C.** [s.l.] Disponível em: <http://www.w3.org/TR/2000/NOTE-SOAP-20000508>, 2020.

WELBOURNE, E. et al. **Building the internet of things using RFID: The RFID ecosystem experience.** 13. ed. [s.l.] IEEE Internet Computing, 2009. v. 13

WERKEMA, C. A. **Relatório O Seis Sigma no Brasil.** São Paulo: Editora Epse,

2003.

WINDLEY, P. J. **REST : Representational State Transfer**. PhD dissertation. Irvine: Department of Information and Computer Science, University of California: Disponível em: <http://www.ics.uci.edu/fielding/pubs/dissertation/top.htm>, 2005.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **The Machine that Changed the World**. New York, U.S.A.: Simon and Schuster, 1990.

WOMACK, J.; JONES, D. **A mentalidade enxuta nas empresas**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2004.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A Máquina Que Mudou o Mundo**. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1990.

XU, X. **From cloud computing to cloud manufacturing**. 28. ed. [s.l.] ., 2012. v. 28

YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. 3. ed. [s.l.] Bookman, 2005.

ANEXO A – NON DISCLOSURE AGREEMENT – NDA**Non-Disclosure-Agreements**

Pelo presente Termo, qualificação completa [REDACTED]
[REDACTED] pessoa
jurídica do tipo [REDACTED] CNPJ [REDACTED] com sede em
[REDACTED] neste ato representada, conforme poderes especialmente
conferidos, por [REDACTED] na qualidade de [REDACTED] CPF
nº [REDACTED] identidade nº [REDACTED] expedida por [REDACTED]

Doravante denominados individualmente como PARTE, ou, em conjunto,
como PARTES, se obrigam a manter o mais absoluto sigilo com relação a toda e
qualquer informação a que tiverem acesso sobre o projeto denominado [REDACTED]
[REDACTED] da sociedade
empresária [REDACTED]

Para tanto, declara e se compromete:

- a) A manter sigilo, tanto escrito como verbal, ou, por qualquer outra forma, de todos os dados, informações científicas e técnicas e, sobre todos os materiais obtidos com sua participação, podendo incluir, mas não se limitando a: técnicas, desenhos, cópias, diagramas, modelos, fluxogramas, croquis, fotografias, programas de computador, discos, disquetes, pen drives, processos, projetos, dentre outros;
- b) A não revelar, reproduzir, utilizar ou dar conhecimento, em hipótese alguma, a terceiros, de dados, informações científicas ou materiais obtidos com sua participação, sem a prévia análise da sociedade empresária [REDACTED]
[REDACTED] sobre a possibilidade de proteção, nos órgãos especializados, dos resultados ou tecnologia envolvendo aquela informação;



Continua.

- c) A não tomar, sem autorização da sociedade empresária [REDACTED] qualquer medida com vistas a obter para si ou para terceiros, os direitos de propriedade intelectual relativos às informações sigilosas a que tenham acesso.
- d) Que todos os documentos, inclusive as ideias para [REDACTED] (objeto do contrato), contendo dados e informações relativas a qualquer pesquisa é de propriedade da sociedade empresária [REDACTED]
- e) Que todos os materiais, sejam modelos, protótipos e/ou outros de qualquer natureza pertencem à sociedade empresária [REDACTED]

CLÁUSULA PRIMEIRA – DO OBJETIVO

Este termo de confidencialidade é firmado com o intuito de evitar a divulgação e utilização não autorizada das informações confidenciais trocadas entre as PARTES por ocasião da realização do seguinte projeto de colaboração: Projeto de pesquisa do nome para a marca da sociedade empresária; da logomarca; de projetos estratégicos, gestão empresarial (e tudo o que for relevante para a empresa).

CLAUSULA SEGUNDA – DAS INFORMAÇÕES CONFIDENCIAIS E OUTROS CONCEITOS

Para os fins deste acordo, serão consideradas confidenciais todas as informações, transmitidas por meios escritos, eletrônicos, verbais ou quaisquer outros e de qualquer natureza, incluindo, mas não se limitando a: know-how, técnicas, design, especificações, desenhos, cópias, modelos, fluxogramas, croquis, fotografias, software, mídias, contratos, planos de negócios, propostas comerciais, processos, tabelas, projetos, nomes de clientes, de revendedor e distribuidor, resultados de pesquisas, invenções e ideias, financeiras, comerciais, dentre outros.



Continua.

PARÁGRAFO PRIMEIRO:

Serão, ainda, consideradas informações confidenciais todas aquelas que assim forem identificadas pela PARTE REVELADORA, por meio de legendas ou quaisquer outras marcações, ou que, devido às circunstâncias da revelação ou à própria natureza da informação, devam ser consideradas confidenciais ou de propriedade desta.

PARÁGRAFO SEGUNDO:

Em caso de dúvida sobre a confidencialidade de determinada informação, a PARTE RECEPTORA deverá mantê-la em absoluto sigilo, até que a PARTE REVELADORA se manifeste expressamente a respeito.

CLÁUSULA TERCEIRA – DO USO DAS INFORMAÇÕES CONFIDENCIAIS

As PARTES comprometem-se a utilizar as informações confidenciais apenas no âmbito do desenvolvimento e da execução do projeto de colaboração, sendo vedada tanto a sua divulgação a terceiros, quanto qualquer outra utilização que não seja expressamente permitida pela PARTE REVELADORA.

PARÁGRAFO PRIMEIRO

A PARTE RECEPTADORA deverá dispensar às informações confidenciais da PARTE REVELADORA o mesmo zelo e cuidado com que trataria os seus próprios dados e deverá mantê-las em local seguro, com acesso limitado, apenas às pessoas autorizadas.

PARÁGRAFO SEGUNDO

Em caso de qualquer falha na segurança das informações confidenciais, a PARTE RECEPTADORA deverá comunicar imediatamente à PARTE REVELADORA. A pronta comunicação da PARTE RECEPTADORA não exclui, entretanto, a sua responsabilização pelo defeito na proteção dos dados sigilosos.



Continua.

CLÁUSULA QUARTA – DAS EXCEÇÕES À CONFIDENCIALIDADE

Não serão consideradas confidenciais as informações que:

- a) Sejam ou venham a ser publicadas ou a se tornar públicas, desde que tais divulgações não tenham sido, de qualquer forma, ocasionadas pela PARTE RECEPTORA;
- b) Tenham sido desenvolvidas pela PARTE RECEPTORA a qualquer tempo, a partir de fontes independentes do projeto de colaboração;
- c) Tenham sido legitimamente recebidas de terceiros, desde que não derivadas de violação de dever de confidencialidade;
- d) Sejam expressas ou tacitamente identificadas pela PARTE REVELADORA como não mais sendo sigilosas ou de sua propriedade.

CLÁUSULA QUINTA – DA REQUISIÇÃO JUDICIAL

Não será considerada quebra de confidencialidade a divulgação de informações ordenadas pela legislação ou por autoridade judiciária ou administrativa competente.

PARÁGRAFO ÚNICO.

Neste caso, a PARTE RECEPTORA deverá imediatamente comunicar à PARTE REVELADORA, apresentando-lhe a legislação referente ou a devida intimação judicial ou administrativa, para que esta sirva-se dos melhores recursos disponíveis para impedir a divulgação das informações reveladas.

CLÁUSULA SEXTA – DA QUEBRA DA CONFIDENCIALIDADE

A PARTE que violar as obrigações previstas neste Termo deverá indenizar e ressarcir a outra PARTE pelas perdas, lucros cessantes, danos diretos e indiretos e quaisquer outros prejuízos patrimoniais ou morais que surjam em decorrência deste descumprimento.



Continua.

PARÁGRAFO ÚNICO.

Por ocasião de sua violação, o Termo de Confidencialidade poderá ser imediatamente rescindido pela PARTE prejudicada, sem necessidade de aviso prévio e sem gerar, com este fato, direito a indenizações ou ressarcimentos.

CLÁUSULA SÉTIMA – DA VIGÊNCIA

O presente acordo possui caráter irrevogável e irretratável e inicia a partir da data de sua assinatura, permanecendo-o enquanto estiver sendo desenvolvido ou executado o projeto de colaboração.

PARÁGRAFO PRIMEIRO

Após a extinção do Termo, as obrigações de confidencialidade nele firmadas manter-se-ão ainda por um período estipulado de [REDACTED] contar da data que for concluído o projeto de colaboração ou descartada a sua concretização.

PARÁGRAFO SEGUNDO

Ainda que o projeto de colaboração não venha a ser executado, o dever de confidencialidade persistirá.

O presente Termo tem natureza irrevogável e irretratável, e o seu não cumprimento acarretará todos os efeitos de ordem penal, civil e administrativa contra seus transgressores.

Para dirimir quaisquer dúvidas oriundas do presente Termo, fica eleito o foro da Comarca de Fortaleza, com renúncia expressa a qualquer outro, por mais privilegiado que seja.



Continua.

E por estarem justas e acordadas, as PARTES assinam este instrumento em 02 (duas) vias de idêntico conteúdo e forma, na presença de 02 (duas) testemunhas, abaixo arroladas.

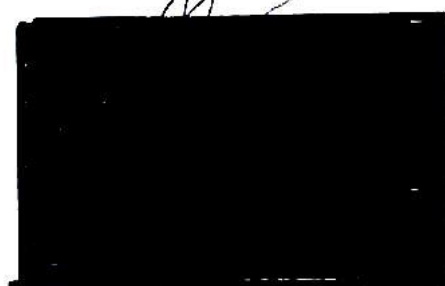
██████████ de Março de 2020.

PARTES

TESTEMUNHAS


Jaime Leite
RG: 24.826.076-5
CPF: 251.364.078-08





ANEXO B – CARACTERÍSTICAS DA MANUFATURA AVANÇADA

CARACTERÍSTICAS DA MANUFATURA AVANÇADA	AUTORES (MARR, 2016) (MONOSTORI, 2015) (BUNSE; KAGERMANN; WAHLSTER, 2014)
Interoperabilidade entre dispositivos, máquinas, sensores e pessoas;	X
Transparência na informação, em que os sistemas contextualizam a informação criando uma copia do mundo físico no mundo virtual através de sensores de dados;	X
Auxílio técnico, pois os sistemas podem auxiliar humanos na tomada decisões e na resolução de problemas, bem como auxiliar quando a tarefa é complexa e insegura para humanos;	X
Robustez em todos os níveis; Auto-organização, auto-manutenção; Auto reparo; Segurança; Diagnóstico Remoto; Controle em tempo real; Navegação autônoma; Transparência; Previsibilidade; Eficiência e Modelo correccional.	X
Processos de produção CPS-otimizado: "unidades" de fábrica inteligente são capazes de determinar e identificar seu(s) campo(s) de atividade, as opções de configuração e as condições de produção, bem como se comunicar de forma independente e sem fio com outras unidades;	X
Manufatura otimizada de produtos customizados para o cliente através da compilação inteligente para o sistema de produção ideal que considera fatores do produto, custos, logística, segurança, confiabilidade, tempo e considerações de sustentabilidade;	X
Produção eficiente de recurso;	X
Ajustes na força de trabalho para que a máquina se adapte ao ciclo de trabalho humano.	X

ANEXO C – PRÉ-REQUISITOS DE TECNOLOGIAS HABILITADORAS

TECNOLOGIA	PRÉ-REQUISITOS DE TECNOLOGIAS HABILITADORAS	AUTORES (MUKHERJEE et al., 2017)	(XU, 2012)	(POTDAR; SHARIF; CHANG, 2009)	(HONLE, 2005)	(GUBBI et al., 2013)	(BANDYOPADHYAY; SEN, 2011)	(MACHADO JUNIOR, 2014)
IoT	Percepção Abrangente - usando recursos como <i>RFID</i> , sensores e códigos de barra para obter informações em qualquer lugar e a qualquer momento.	X	X					
IoT	Transmissão Confiável - Um conjunto de tecnologias de redes de rádio, redes de telecomunicação e a Internet permitirão a transmissão e a disponibilidade de informações entre objetos de rede a qualquer momento.	X					X	
IoT	Processamento Inteligente - darão suporte às aplicações para <i>IoT</i> através da coleta de dados para bancos de dados, de várias tecnologias de computação inteligente, incluindo a computação na nuvem.	X						
Cloud Computing	Software como Serviço (SaaS)		X					
IoT	Redes de sensores sem fio (WSN):			X				
IoT	Esquemas de Endereçamento (IoT)				X			
IoT	Análise e Armazenamento de dados					X		
IoT	Sensoriamento do ambiente						X	
IoT	Controle Remoto						X	
Vertical Integration	Ser um sistema cliente-servidor.							X
Vertical Integration	Ser independente de estado, ou seja, cada requisição deverá ser independente das outras.							X
Vertical Integration	Tem que suportar um sistema de cache, a infraestrutura de rede deve suportar caches em diferentes níveis.							X
Vertical Integration	Ser acessível de maneira uniforme, cada recurso deve ter um endereço exclusivo e um ponto de acesso válido.							X
Vertical Integration	Tem que ser em camadas e deve suportar escalabilidade.							X

ANEXO D – PRÉ-REQUISITOS DE INDICADORES DE PERFORMANCE

PRÉ-REQUISITOS DE INDICADORES DE PERFORMANCE	AUTORES (SETEC, 2006)	(PARMENTER, 2007)	(FERREIRA, 2004)	(LINKER, JEFFREY, MEIER, 2007)	(ECKES, 2001)	(WERKEMA, 2003)
OEE (<i>Overall Equipment Efficiency</i>)	X	X	X			
<i>Takt Time</i>	X			X		
Cpk (índice de capacidade)	X				X	X
Nível Sigma	X				X	X
MTBF	X					
MTTR	X					

ANEXO E – ESPECIFICAÇÃO DAS FUNCIONALIDADES DO TMA

TMA Devices

1. Leitura dos sensores e atuadores — Esta funcionalidade é o ponto de partida para todo o sistema, os *OEE devices* devem ser capazes de captar eventos que aconteçam nos equipamentos industriais, o que envolve receberem informações como, por exemplo, artigos produzidos, defeituosos, tempos de funcionamento;

2. Processamento da informação — Todos os dados recolhidos dos equipamentos industriais devem ser perceptíveis, deste modo, é necessário que a informação seja traduzida. Isto requer uma unidade de processamento, que seja capaz de comunicar com a unidade de armazenamento de dados, o que, em ambiente industrial, envolve dispositivos com meios de comunicação ethernet, desta forma, será possível criar uma rede com todos os dispositivos de captação de dados, que comunicarão com o *OEE management center*.

TMA Management Center

1. Armazenamento da informação - Esta funcionalidade apesar de parecer genérica está implícita em todas as atividades que envolvam inserção de dados no sistema, tenham origem no equipamento industrial ou no usuário. Este componente está localizado no nível mais superior da estrutura do sistema, pois será alvo de inserção de dados por todos os OEE devices ligados à rede de dispositivos de captação de dados.

O outro componente constituinte é o User interface, com as seguintes funcionalidades associadas:

2. Introdução de dados por parte do usuário - Esta funcionalidade é vital para o cálculo do OEE, todos as informações necessárias para esta operação devem ser introduzidos no sistema pelo usuário, complementados pelas informações captadas dos equipamentos industriais formarão o conjunto de dados usados para calcular a eficiência dos mesmos;

3. Apresentação dos resultados obtidos - Após o cálculo dos índices de eficiência o componente responsável pela comunicação com o usuário deverá ser capaz de lhe apresentar os resultados. Esta apresentação de resultados deverá seguir critérios que o usuário deseje, de modo que se possa ver a evolução do OEE e suas componentes;

4. Registo de causas de parada e anomalia — De modo a serem explicitos os motivos que levam a Downtime não planeado e deste modo “combater” estes fenômenos é necessário que o sistema guarde e apresente, quando solicitado, estas causas;

5. Apresentação dos planos ou sugestões de melhoria — É necessário que o sistema formule planos de melhoria para os equipamentos, procurando diminuir as perdas referidas no capítulo Manufatura Enxuta. Deste modo, após a sua criação é necessária apresentação ao usuário, sendo o User Interface responsável por estas atividades.

Finalizando a explicação das funcionalidades, o OEE management center é responsável pelas atividades core do sistema, seguidamente explicitadas:

6. Cálculo do OEE — O cálculo da eficiência dos equipamentos é um processo matemático simples, contudo, esta atividade é necessária para todos os equipamentos de coleta de dados existentes na rede. Deste modo é necessário que a unidade central do sistema seja capaz de processar toda esta informação;

7. Comparação do OEE com valores padrão — Os valores ideais de eficiência e seus componentes são já conhecidos, e são referidos, estando estes incorporados no sistema, torna-se mais simples a comparação com os valores calculados. O OEE management center sendo a unidade central do sistema deverá realizar esta atividade, comparando cada componente do OEE para que seja possível identificar que componentes estão com desempenhos abaixo da média e tornem a eficiência global;

8. Criação de planos ou sugestões de melhoria — A comparação feita entre o OEE e os valores padrão será o ponto de partida para a geração de planos de melhoria, com base nos índices com valores abaixo do considerado ideal. Os planos de melhoria devem ser constituídos por sugestões sobre a disponibilidade, eficiência e qualidade, devendo informar o utilizador de quais as componentes destes índices melhorar para que o valor do índice suba.

ANEXO F – CODIGO FONTE DO PROGRAMA EM PYTHON

```

1  import psycopg2
2  import time
3  evt_file = open("/dev/input/event1", "rb")
4  produzido=0
5  defeito=0
6  downtime=0
7  versao=1
8  while True:
9      if contador -- 1:
10         downtime=downtime+0.000000001
11     evt = evt_file.read(16) # Read the event
12     evt_file.read(16)      # Discard the debounce event
13     code = ord(evt[10])
14     direction = "desativado" if ord(evt[12]) else "ativado"
15     try:
16         conn = psycopg2.connect("dbname='datastoragecenter' user='(nome de
17                                utilizador)' host='(caminho para o servidor da base de dados)'
18                                password='(palavra passe)'"')
19     except:
20         print "Impossivel ligar a base de dados."
21
22     cur = conn.cursor()
23     print "Sensor "+str(code)+" foi: "+direction
24     if str(code)-- 1:
25         produzido = produzido + 1
26     elif str(code)-- 2:
27         defeito = defeito + 1
28     elif str(code) -- 3:
29         if direction == "ativado":
30             contador = 1
31         else
32             contador = 0
33         codigo="01-"+time.strftime("%m/%d/%Y")+"-"+time.strftime("%H:%M:%S")+"-"+versao
34     try:
35         query="""INSERT INTO report_producao(codigo_report, total_producao
36             , total_defeito, downtime_nplaneado) VALUES (%s, %d, %d, %f)"""
37         cur.execute(query, (codigo, produzido, defeito, downtime))
38         versao=versao+1
39     except:
40         print "Impossivel enviar informacao para a base de dados"

```

ANEXO G – SCRIPT DE CRIAÇÃO DA BASE DE DADOS

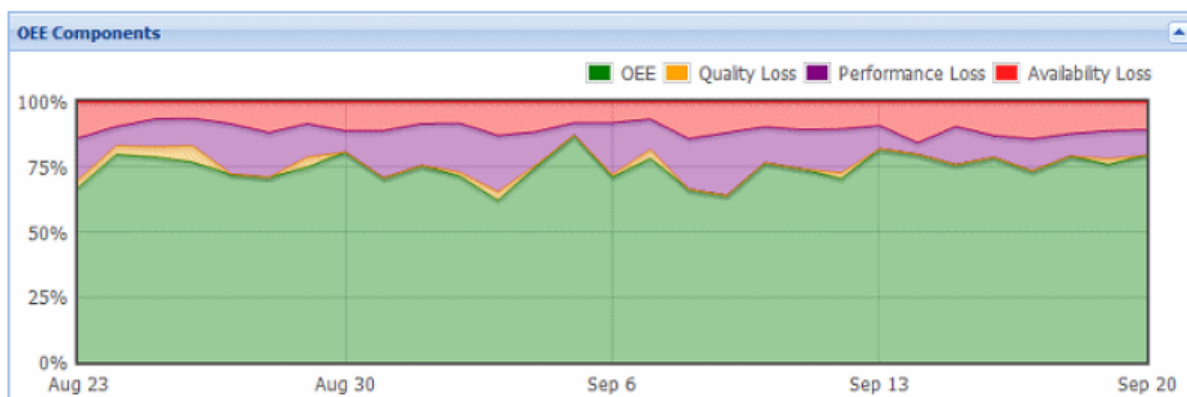
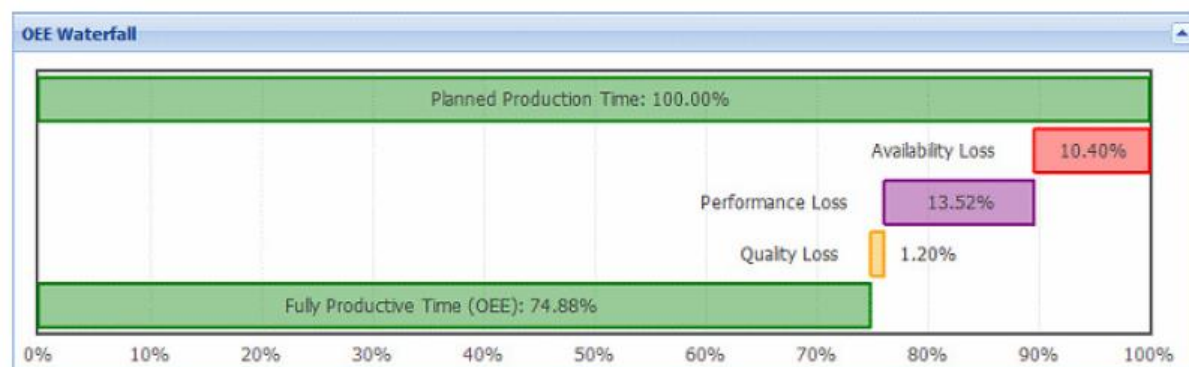
```

1 CREATE TABLE funcionario(
2     codigo_funcionario serial NOT NULL,
3     Nome varchar(25),
4     password varchar(8)
5 )
6
7 ALTER TABLE ONLY funcionario
8     ADD CONSTRAINT funcionario_pkey PRIMARY KEY (codigo_funcionario);
9
10 CREATE TABLE turno(
11     codigo_turno varchar(5) NOT NULL,
12     hora_inicio integer,
13     hora_fim integer,
14     designacao varchar(6)
15 )
16
17 ALTER TABLE ONLY turno
18     ADD CONSTRAINT turno_pkey PRIMARY KEY (codigo_turno);
19
20 CREATE TABLE artigo(
21     codigo_artigo serial NOT NULL,
22     nome varchar(6),
23     tempo_ciclo integer)
24
25 ALTER TABLE ONLY artigo
26     ADD CONSTRAINT artigo_pkey PRIMARY KEY (codigo_artigo);
27
28 CREATE TABLE ordem_producao(
29     codigo_ordem integer NOT NULL,
30     codigo_artigo serial NOT NULL,
31     codigo_funcionario serial NOT NULL,
32     data integer NOT NULL,
33     codigo_turno varchar(5) NOT NULL,
34     tempo_producao_previsto integer NOT NULL,
35     downtime_planeado integer NOT NULL)
36
37 ALTER TABLE ONLY ordem_producao
38     ADD CONSTRAINT ordem_producao_pkey PRIMARY KEY (codigo_ordem);
39 ALTER TABLE ONLY ordem_producao
40     ADD CONSTRAINT ordem_producao_fkey_artigo FOREIGN KEY (
41         codigo_artigo) REFERENCES artigo(codigo_artigo);
42 ALTER TABLE ONLY ordem_producao
43     ADD CONSTRAINT ordem_producao_fkey_funcionario FOREIGN KEY (
44         codigo_funcionario) REFERENCES funcionario(codigo_funcionario);
45 ALTER TABLE ONLY ordem_producao
46     ADD CONSTRAINT ordem_producao_fkey_turno FOREIGN KEY (codigo_turno
47         ) REFERENCES turno(codigo_turno);
48
49 CREATE TABLE report_producao(
50     codigo_report integer NOT NULL,
51     codigo_ordem integer NOT NULL,

```

```
49 total_produzido integer,
50 total_defeito integer,
51 downtime_Nplaneado integer)
52
53 ALTER TABLE ONLY report_producao
54     ADD CONSTRAINT report_producao_pkey PRIMARY KEY (codigo_report);
55 ALTER TABLE ONLY report_producao
56     ADD CONSTRAINT report_producao_fkey_ordem FOREIGN KEY (
57         codigo_ordem) REFERENCES ordem_producao(codigo_ordem);
58
59 CREATE TABLE calculo(
60     codigo_ordem integer NOT NULL,
61     codigo_report integer NOT NULL,
62     NAT integer,
63     NOT integer,
64     IOT integer,
65     LOT integer,
66     A integer,
67     Q integer,
68     P integer,
69     OEE integer)
70
71 ALTER TABLE ONLY calculo
72     ADD CONSTRAINT calculo_pkey PRIMARY KEY (codigo_ordem);
73     ADD CONSTRAINT calculo_pkey PRIMARY KEY (codigo_report);
```

ANEXO H – INTERFACES DA APLICAÇÃO



ANEXO I – FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO DO TMA

Entrevista para avaliação do Template de Manufatura Avançada (TMA).

Pesquisa de Mestrado conduzida pela Universidade de Sorocaba e apoiada pela área de Excelência Operacional Corporativa da empresa objeto de estudo.

(1) Dados do entrevistado

PERGUNTAS		RESPOSTA
a	Cargo:	
b	Grau de Escolaridade:	
c	Formação da Graduação:	
d	Tempo de trabalho na Empresa:	
e	Tempo de trabalho com Excelência Operacional na Empresa:	
f	Tempo de trabalho com Excelência Operacional na Carreira:	

AVALIAÇÃO DO TEMPLATE DE MANUFATURA AVANÇADA

A partir do seu entendimento sobre o template de manufatura avançada (TMA) e tomando como base os resultados obtidos nessa pesquisa, julgue o template pontuando de 1 a 5, sendo 1 – discordo completamente e 5 – concordo completamente. Comente a sua avaliação.

(2) As definições do Template de Manufatura Avançada

PERGUNTAS		1	2	3	4	5
1	As tecnologias habilitadoras do TMA promovem o entendimento do que precisa ser feito?					
2	Os conceitos de manufatura enxuta do TMA auxiliam na implementação?					

(3) Ajuste do Template a realidade da Empresa

PERGUNTAS		1	2	3	4	5
3	As tecnologias habilitadoras do TMA promovem o entendimento do que precisa ser feito?					
4	Os indicadores de performance selecionados mostram-se pertinentes ao processo produtivo da empresa?					

(4) Resultados da implementação

PERGUNTAS		1	2	3	4	5
5	Os resultados da implementação na Enchedora Klockner , estão de acordo com as suas expectativas?					
6	Os resultados da implementação na Montadora de Caixas , estão de acordo com as suas expectativas?					
7	Os resultados da implementação na Seladora de Sacos , estão de acordo com as suas expectativas?					

(5) Avaliação do Template de Manufatura Avançada (TMA)

PERGUNTAS		1	2	3	4	5
8	O Template de Manufatura Avançada, TMA, é adequado para proporcionar aumento de produtividade para a planta estudo de caso ?					
9	O Template de Manufatura Avançada, TMA, é adequado para proporcionar aumento de produtividade para outras plantas do grupo ?					