

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

**Implementação de Sistema de  
Rastreabilidade em Empresa de Base  
Tecnológica com Ênfase em Tecnologias da  
Indústria 4.0**

**Joana Darc Teodoro Bonaldi**

**Itajubá, maio de 2023**

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

**Joana Darc Teodoro Bonaldi**

**Implementação de Sistema de  
Rastreabilidade em Empresa de Base  
Tecnológica com Ênfase em Tecnologias da  
Indústria 4.0**

**Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia de Produção.**

**Área de Concentração:** Engenharia de Produção (Qualidade e Produtos)

**Orientador:** Juliana Helena Daroz Gaudêncio

**Coorientador:** Carlos Henrique Pereira Mello

**Itajubá, maio de 2023**

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

**Joana Darc Teodoro Bonaldi**

**Implementação de Sistema de  
Rastreabilidade em Empresa de Base  
Tecnológica com Ênfase em Tecnologias da  
Indústria 4.0**

Dissertação aprovada por banca examinadora em 25 de maio de 2023, conferindo à autora o título de **Mestre em Ciências em Engenharia de Produção**.

**Banca examinadora:**

Prof. Dr. José Carlos Toledo (UFSCAR)

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches da Silva (UNIFEI)

Prof. Dr. José Henrique de Freitas Gomes (UNIFEI)

Profa. Dra. Juliana Helena Daroz Gaudêncio (Orientadora)

Prof. Dr. Carlos Henrique Pereira Mello (Coorientador)

**Itajubá, maio de 2023**

## DEDICATÓRIA

*Dedico esta dissertação aos meus filhos Gustavo, Enzo e Paulo e, especialmente, ao meu marido Erik Bonaldi que sempre me incentivou e apoiou através dos seus ensinamentos com amor e carinho sempre.*

## **AGRADECIMENTOS**

“Tudo posso naquele que me fortalece” (Filipenses 4:13). A Deus, quem me deu tudo o que tenho e sou, e a quem confio a minha vida, agradeço o amor incondicional, a generosidade e o sustento em cada passo do caminho até aqui.

Agradeço a minha família, especialmente aos meus filhos e meu marido, minha base e razão pela qual enfrento todos os obstáculos da minha vida.

Agradeço especialmente ao meu marido, a quem admiro, fonte de inspiração e trabalho que me incentivou a concluir o mestrado.

Agradeço a professora e amiga Nathalia Fernandes que me apoiou e incentivou a fazer a prova do mestrado.

Agradeço a todos que torceram por mim até aqui.

Agradeço a todos os meus amigos, presentes, distantes, de longa data e “recém-chegados”, cada um de vocês é um presente de Deus em minha vida: Anelise Duarte, Gabriela Luz, Frederico de Oliveira Assunção, Fernanda Mitchelly, Leonardo Lourenço, sempre me ajudando, torcendo e me dando o apoio.

Agradeço ao meu filho Gustavo que me ajudou a estudar para a prova do Mestrado, na formatação das imagens do meu trabalho, sempre ao meu lado e ao Enzo de apenas 8 anos, sendo compreensivo e entendendo que o silêncio era importante para o meu estudo. E ao Paulinho que desde que fiz a prova do mestrado, seu sorriso me mostrou que estava feliz com a minha conquista. Que todo esse caminho de lutas e conquistas sirva de exemplo para os meus filhos, onde não tenha idade para conquistarmos os nossos sonhos.

Agradeço a PS Soluções por apoiar a minha pesquisa e me permitir usar o ambiente para desenvolvê-la.

Agradeço à UNIFEI, junto a todos os mestres e colegas, pelo aprendizado, em nome dos professores Carlos Mello, meu Coorientador, e Juliana Gaudêncio, minha orientadora.

Finalmente, quero agradecer, com grande apreço e de maneira muito especial, à minha orientadora Juliana Gaudêncio: jovem professora e orientadora que aprendi a admirar por seu caráter e altruísmo. Não tenho palavras para expressar a minha gratidão. Muito obrigada!

*"A alegria que se tem em pensar e aprender faz-nos pensar e aprender ainda mais."*

*(Aristóteles)*

## RESUMO

Com o advento da Indústria 4.0 e a abordagem de um sistema de produção conectada ao uso de tecnologias da Indústria 4.0, a adoção de sistemas de rastreabilidade vem ser uma aplicação essencial dessa nova era industrial. O trabalho leva em consideração a necessidade de empresas de pequeno e médio portes melhorarem os processos realizados, através do uso de tecnologias que constituem os pilares da Indústria 4.0. No contexto, o trabalho propõe desenvolver um sistema de rastreabilidade aplicado à cadeia de produção de tanque de capacitores de aço inox através da leitura do código de barras no aço inoxidável AISI 304 ou aço inoxidável AISI 409 de uma das unidades de uma empresa brasileira localizada em Itajubá, Sul de Minas Gerais. Inicialmente, adotou-se uma revisão sistemática de literatura conduzida com base no protocolo PRISMA, abrangendo as bases de dados Scopus e Web of Science, que permitiu a seleção dos artigos mais relevantes acerca dessa temática. O método de pesquisa utilizado foi a Pesquisa-ação na qual foi possível desenvolver e implantar o Sistema de rastreabilidade proposto chamado de RAST 4.0. Por meio de um lote piloto, foi possível coletar os dados e analisá-los através das etapas do ciclo PDCA; desse modo, um Plano de Ação foi desenvolvido com o propósito de solucionar as falhas encontradas. Dando prosseguimento nas etapas da pesquisa-ação, com a aplicação do Plano de Ação, a empresa conquistou melhorias através de ações simples. Foi gerado o 2º Lote Piloto, que foi acompanhado e testado dentro do processo, resultando em tomadas de tempo de cada uma das tarefas e mantendo a rastreabilidade desde o início até o envio do tanque de capacitor para o cliente, através da Rastreabilidade interna.

**Palavras-Chave:** Rastreabilidade, Pilares da Indústria 4.0, Internet das coisas (*IoT*), Confiabilidade.

## ABSTRACT

With the advent of Industry 4.0 and the approach of a connected production system using Industry 4.0 technologies, the adoption of traceability systems becomes an essential application of this new industrial era. The work takes into account the need for small and medium-sized companies to improve the processes carried out, through the use of technologies mentioned in the pillars of Industry 4.0. In this context, the work proposes to develop a traceability system applied to the production chain of stainless-steel capacitor tanks with the reading of the bar code in stainless steel AISI 304 and stainless steel AISI 409 of one of the units of a Brazilian company located in Itajubá, south of Minas Gerais. Initially, a systematic literature review conducted based on the PRISMA protocol was adopted, covering the Scopus and Web of Science databases, which allowed the selection of the most relevant articles on this topic. The methodology used was Action Research in which it was possible to develop and implement the proposed traceability system called RAST 4.0. Through a pilot batch, it was possible to collect data and analyze them through the stages of the PDCA cycle; thus, an Action Plan was developed with the purpose of solving the flaws found. Continuing with the action-research stages, with the application of the Action Plan, the company achieved improvements through simple actions, thus generating the 2nd Pilot Batch, which was monitored and tested within the process, resulting in time taken for each of tasks and maintaining traceability from the beginning to the shipment of the capacitor tank to the customer, through internal traceability.

**Keywords:** Traceability, Pillars of Industry 4., Internet of Things (IoT), Reliability

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Linha de produção do tanque de capacitor – Fluxo Linear – em U.....	22
Figura 2 – Classificação do sistema de produção do tanque de capacitor .....	23
Figura 3 – Fluxograma do método PRISMA .....	26
Figura 4 – Número de artigos publicados por ano .....	26
Figura 5 – Autores com maior número de publicações na amostra .....	27
Figura 6 – Nuvem de Palavras .....	28
Figura 7 – História da Revolução Industrial .....	31
Figura 8 – Indústria 4.0 x Governos.....	33
Figura 9 – Níveis de capacidade dos produtos inteligentes e conectados .....	39
Figura 10 – Alicerces da Indústria 4.0 .....	40
Figura 11 – Tecnologias do IoT .....	42
Figura 12 - Como funciona o código de barras.....	52
Figura 13 - Vantagens e desvantagens do uso do código de barras .....	53
Figura 14 - Funcionamento da tecnologia RFID.....	54
Figura 15 – Tanque de Capacitor .....	59
Figura 16 – Estruturação para a condução da Pesquisa-ação. Fonte: Adaptado de Westbrook (1995), Coughlan e Coughlan (2002) e Thiollent (2007) .....	60
Figura 17 – Ciclo PDCA.....	60
Figura 18 – Etapas do PDCA e da Pesquisa-ação.....	61
Figura 19 – PLAN (Planejar) .....	64
Figura 20 – Placa de aço inoxidável 304 .....	65
Figura 21 – Tanque de Capacitor .....	67
Figura 22 – Fluxograma do Tanque de Capacitor.....	68
Figura 23 – Etapas do Processo Produtivo.....	70
Figura 24 – Indicadores de Desempenho antes do Sistema RAST 4.0 .....	71
Figura 25 – Dados indicador confiabilidade de estoque 2021 .....	71
Figura 26 – Gráfico Indicador de Confiabilidade de Estoque 2021 .....	72
Figura 27 – Dados Indicador de Itens Não Conforme .....	72
Figura 28 – Gráfico do Indicador de Itens não Conforme .....	73
Figura 29 – Número de Tanques retrabalhados devido ao teste de estanqueidade .....	73
Figura 30 – Gráfico de Vazamento devido ao teste de Estanqueidade .....	74
Figura 31 – Informações do Plano de Ação .....	76
Figura 32 – DO (executar) .....	76
Figura 33 – Plano de Ação .....	78
Figura 34 –Placa mãe Raspberry Pi 3 B+14 .....	79
Figura 35 – Tela Touch 7 Polegadas Raspberry Hdmi Capacitiva Waveshare®.....	79
Figura 36 – Leitor de Código de Barras Laser Zebra Ls2208 Usb .....	80
Figura 37 – Hardware do RAST4.0 em forma de totem .....	81
Figura 38 – Cadastro de matéria-prima.....	83
Figura 39 – Exemplo de matéria-prima cadastrada.....	84
Figura 40 – Cadastro de parceiros.....	84
Figura 41 – Cadastro de nova inspeção de recebimento .....	85
Figura 42 – Tela de registo de entrada dos materiais .....	85
Figura 43 – Imagem do arquivo gerado de inspeção de recebimento. ....	86
Figura 44 – Tela principal estoque.....	86
Figura 45 – Tela de consulta por item.....	87
Figura 46 – Tela de cadastro de produto final.....	87
Figura 47 – Lista de componentes .....	88
Figura 48 – Tela de ordens de produção .....	88
Figura 49 – Tela de operação .....	89
Figura 50 – Tela de inspeções – Controle de Vazamentos .....	89
Figura 51 – Resumo do produto acabado.....	90
Figura 52 – Falha na leitura do código de barras .....	91

## LISTA DE FIGURAS

Figura 53 – Erro de conexão .....	91
Figura 54 – Dificuldade de identificação .....	92
Figura 55 – Problema na identificação do código.....	93
Figura 56 – Exemplo do sistema de rastreabilidade em operação durante o teste piloto .....	94
Figura 57 - Plano de ação - Ações 3 e 4 - 1º Lote Piloto .....	97
Figura 58 - Fluxograma do Tanque Capacitor após o RAST 4.0.....	98
Figura 59 – Checar (C).....	99
Figura 60 – Indicador de retrabalho – Ano 2022 .....	100
Figura 61 – Gráfico do Indicador de Retrabalho.....	101
Figura 62 – Ação (A) .....	101
Figura 63 – Objetivos alcançados X objetivos traçados X Pilares da Indústria 4.0 empregados.....	103

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros de pesquisa. ....	25
Tabela 2 – Análise descritiva dos Países.....	28
Tabela 3 – As principais tecnologias da Indústria 4.0.....	36
Tabela 4 - Tipos de Rastreabilidade.....	50
Tabela 5 – Comparação entre o código de barras e RFID .....	56
Tabela 6 – Cenário Atual X Cenário Desejado.....	58
Tabela 7 – Especificação das caixas de capacitores.....	66

---

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
<i>APIs</i>	<i>(Application Programming Interface)</i>
CLP	Controlador Lógico Programável
EPP	Empresa de Pequeno Porte
ERP	Enterprise Resource Planning
ESA	Técnica de Análise da Assinatura Elétrica
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
IoS	Internet dos Serviços
<i>IOT</i>	Internet of Things
<i>IIoT</i>	Internet das Coisas industrial
MES	Manufacturing Execution Systems
<i>MTO</i>	<i>Make to Order</i>
<i>MySQL</i>	<i>Structure Query Language</i>
NBR	Norma Brasileira
PDCA	<i>Plan – Do – Check – Act</i>
P&D&I	Projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PRISMA	<i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses</i>
RFID	Radio-Frequency Identification tag
<i>PLM</i>	Distribuição e gerenciamento do ciclo de vida do produto
QR	Código
RAST 4.0	Sistema de Rastreabilidade desenvolvido para o Objeto de Estudo
RLS	Revisão sistemática da literatura,
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
VR	<i>Virtual Reality</i>

# Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1 Contextualização .....	15
1.2 Justificativas e contribuições .....	20
1.3 Objetivos.....	21
1.3.1 Objetivo geral .....	21
1.3.2 Objetivos específicos .....	21
1.4 Delimitação do tema e características do processo .....	21
1.5 Estrutura do trabalho .....	23
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>24</b>
2.1 Considerações Iniciais .....	24
2.2 Revisão Sistemática da Literatura (RSL) .....	24
2.3 História da Revolução Industrial .....	29
2.3.1 Indústria 4.0 .....	32
2.3.2 Pilares da Indústria 4.0 .....	40
2.4 Histórico da Rastreabilidade.....	44
2.4.1 Conceito de rastreabilidade .....	45
2.4.2 A rastreabilidade vista em diversas áreas .....	46
2.4.2.1 A rastreabilidade e controle da Qualidade.....	46
2.4.2.2 A rastreabilidade na Indústria.....	47
2.4.3 Classificação da rastreabilidade.....	48
2.4.4 Código de barras .....	51
2.4.5 Vantagens e desvantagens do uso do código de barras .....	53
2.4.6 RFID .....	54
2.4.6.1 Benefícios da Identificação por Rádio Frequência.....	54
2.4.7 RFID X código de barras.....	55
<b>3. MÉTODO DE PESQUISA .....</b>	<b>57</b>
3.1 Objeto de estudo.....	57
3.1.1 Diagnóstico da situação .....	57
3.1.2 Estrutura no ambiente de pesquisa .....	58
3.2 Método de Pesquisa .....	59
3.3 Etapas da aplicação.....	61
3.3.1 Pesquisa-ação .....	62
3.3.1.1 Pesquisa-ação na indústria.....	62
<b>4. DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>64</b>
4.1 – Planejar (P) .....	64
4.1.1 Planejar a pesquisa-ação .....	64
4.1.2 Coletar dados .....	69
4.1.2.1 Coleta de dados das etapas do processo produtivo.....	69
4.1.3 Analisar os dados e planejar ações .....	76
4.2 – DO (Executar (D)) .....	76
4.2.1 O Sistema de Rastreabilidade – RAST4.0.....	78
4.3 – Verificação (C) .....	99
4.3.1 – Avaliar o resultado e gerar o relatório .....	99
4.4 – Ação (A).....	101
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>104</b>
<b>6. TRABALHO FUTUROS .....</b>	<b>106</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>107</b>

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>119</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

Com o decorrer do tempo e em um mundo globalizado, as empresas precisam encontrar maneiras de lidar com um número crescente de desafios (MOHELSKA e SOKOLOVA, 2018), a sobrevivência depende da capacidade de adequação de seus produtos e processos e às demandas cada vez mais exigentes do mercado. Com o desenvolvimento tecnológico a indústria está se revolucionando a fim de atender as necessidades dos consumidores e da concorrência global.

O surgimento de uma nova tecnologia digital conhecida como Indústria 4.0 é impulsionada por avanços tecnológicos. Máquinas, sensores e sistemas de tecnologia da informação serão conectados ao longo da cadeia de valor além de uma única empresa. Esses sistemas conectados, chamados de sistemas ciberfísicos, podem interagir uns com os outros usando protocolos baseados na Internet e analisar dados para prever falhas, configurar-se e adaptar-se às mudanças. O conceito da Indústria 4.0 tem-se espalhado pelo mundo como uma nova estratégia de inovação e reinvenção da indústria de manufatura (NUNES, 2021).

No momento atual, o desenvolvimento do setor manufatura está diretamente ligado à Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0, cujos conceitos surgiram em 2011, a partir de uma iniciativa do governo alemão com universidades e empresas privadas para elaborar um programa estratégico capaz de estimular o desenvolvimento dos sistemas de produção visando a aumentar a produtividade e eficiência da indústria nacional (ALMEIDA, 2019; SACOMANO *et al.*, 2018).

A Indústria 4.0 traz o conceito de manufatura inteligente ao propor soluções digitais a partir de um conjunto de tecnologias capazes de associar o mundo físico, digital e biológico, produzindo, dessa forma, um impacto profundo e exponencial em toda cadeia produtiva (FRANK *et al.*, 2019). A quarta revolução industrial é um ambiente que combina manufatura com internet das coisas e sistemas Ciberfísicos. (BOUGDIRA, ALHARRAZ, AHAITOUF, 2019).

Dessa maneira, existe uma crescente necessidade de organizar, identificar, rastrear e automatizar objetos através de novas tecnologias, e novas soluções propiciadas pela Indústria 4.0. As empresas em geral, independentemente do porte, vêm buscando introduzir os conceitos da Indústria 4.0 em seu dia-a-dia.

Para Rubmann *et al.* (2015), o uso das ferramentas da Indústria 4.0 aumentará a produtividade da manufatura, mudará a economia, promoverá o crescimento, mudando a competitividade de empresas e regiões ao longo do tempo.

De acordo com Bougdira, Alharraz e Ahaitouf (2019), a rastreabilidade é uma das tecnologias mencionadas nos pilares da Indústria 4.0. A rastreabilidade é a capacidade de acessar toda ou qualquer informação relativa ao que está sendo considerado ao longo de todo o seu ciclo de vida por meio de identificações registradas. Além disso, a rastreabilidade é orientada por regulamentações (ou seja, setores de alimentos e saúde) e possui vários requisitos e propriedades (MANIA *et al.*, 2018; KARLSEN *et al.*, 2011).

A rastreabilidade é um mecanismo que permite identificar a origem do produto desde a compra da matéria-prima até o cliente final, podendo ter sido, ou não, transformado ou processado. É um conjunto de medidas que possibilitam controlar e monitorar todas as movimentações nas unidades, de entrada e de saída, objetivando a produção de qualidade e com origem garantida (PALLET *et al.*, 2003). O sistema de rastreabilidade, abrange todo o percurso do produto e a forma de gerenciamento das informações ao longo da cadeia produtiva. Esse conceito tem adquirido importância significativa nos últimos tempos tanto no mercado interno como no externo, em diversas áreas como: indústrias, alimentos, medicamentos e confecções.

O estudo de Bougdira *et al.* (2019) aborda que para esse ambiente da Indústria 4.0, várias fontes em destaque como produtos inteligentes, agentes inteligentes e sensores geram uma quantidade crescente de dados, o que é essencial para uma rastreabilidade eficaz. No entanto, devido a essas fontes heterogêneas, um sistema de rastreabilidade deve enfrentar o desafio de interoperabilidade e superar o problema de integração de dados. Diante desse desafio, a incorporação dessas informações em uma ferramenta de rastreabilidade é motivada pela necessidade de ter acesso a uma quantidade máxima de dados precisos do produto.

A rastreabilidade vem com o propósito de facilitar as respostas para os problemas encontrados ao longo do processo de forma que, melhor controlados e acompanhados, esses problemas não cheguem até o cliente.

De acordo com Juran *et al.* (1974), a rastreabilidade deve fazer parte de um processo produtivo a fim de se ter a habilidade de identificar o produto e suas origens. A importância de um sistema de rastreabilidade torna-se necessário para assegurar que apenas materiais e componentes de qualidade adequada deram origem ao produto final, identificar e evitar mistura de produtos semelhantes, permitir que produtos suspeitos retornem, localizar causas de falhas e tomar ação corretiva com um custo mínimo.

O objeto de estudo visa a rastrear o produto fabricado que foi testado N vezes no processo produtivo e ainda foi encontrado com defeito no cliente final. Busca ainda garantir a rastreabilidade desse produto e a localização das falhas no decorrer do processo produtivo. Vale ressaltar a execução dos testes e o defeito no cliente podem estar relacionados a falhas humanas do operador ou problemas no processo (equipamentos de teste ou procedimento).

Feigenbaum (1994) e Juran *et al.* (1974) consideram a rastreabilidade como uma ferramenta útil e com diferentes funções no gerenciamento interno do processo produtivo de uma empresa, porém não mencionam a utilização da rastreabilidade como forma de captar tendências da qualidade.

Por outro lado, a simples adoção de um sistema de rastreabilidade voltado para as tecnologias da Indústria 4.0, em destaque a *IoT* (internet das coisas), *big data*, computação em nuvem e integração de sistemas, pode proporcionar um controle de processo que pode ser acompanhado pelos gestores da empresa de forma remota, pois as informações estarão disponíveis para serem acessadas e verificadas a fim de proporcionar uma melhor gestão dos dados e eficiência no uso das informações do processo produtivo.

*IoT* (*Internet of Things*) refere-se a um conjunto de dispositivos e tecnologias que podem compartilhar recursos e inteligência. É uma rede de objetos físicos, máquinas, eletrodomésticos, entre outras tecnologias, que utiliza sensores e *APIs* (*Application Programming Interface*) para conectar e trocar dados pela internet (XIA *et al.*, 2012).

Internet das coisas é um conceito que se torna cada vez mais relevante e ajuda a resolver problemas como uma rede de conexão de objetos físicos interligados em uma rede em tempo real. A capacidade de transmissão de dados e a internet das coisas permitem agregar sensores e aumentam as oportunidades para a coleta de dados em tempo real. Segundo Gröger *et al.* (2013), os funcionários devem ser capazes de monitorar sua performance no processo de que fazem parte para que possam reagir rapidamente caso se deparem com desvios nos resultados e identifiquem e solucionem possíveis problemas.

A análise de *big data* (BD) tem sido considerada por muitos como a próxima fronteira para inovação, competição e produtividade (MANYIKA *et al.*, 2011). Uma definição amplamente utilizada de análise de *big data* considera como “*uma nova geração de tecnologias e arquiteturas, projetadas para extrair valor economicamente de grandes volumes de uma ampla variedade de dados, permitindo captura, descoberta e/ou análise em alta velocidade*” (MIKALEF *et al.*, 2017).

BD refere-se a conjuntos de dados dinâmicos de alto volume, alta velocidade e alta variedade que excedem as capacidades de processamento das abordagens tradicionais de

gerenciamento de dados (RUSSOM, 2011; CHEN E ZHANG, 2014).

A literatura sugere que, por meio da implantação focada da análise de *big data*, as empresas são capazes de detectar oportunidades e ameaças emergentes, gerar entendimentos críticos e adaptar suas operações com base nas tendências observadas no ambiente competitivo (CHEN *et al.*, 2012). Como resultado, o grande diferencial competitivo que a análise de *big data* fornece reside no fato de facilitar uma tomada de decisão mais bem informada (ABBASI *et al.*, 2016; MIKALEF *et al.*, 2019).

O aumento do interesse em análise de *big data* tem sido particularmente evidente em empresas que operam em ambientes complexos e rápidos (WANG *et al.*, 2016). Os gerentes hoje em dia estão baseando suas decisões cada vez mais em entendimentos em tempo real gerados a partir de *big data*, e estão direcionando um número crescente de iniciativas nessa direção (CONSTANTIOU *et al.*, 2015).

O uso generalizado de tecnologias digitais levou ao surgimento de *big data business analytics* (BDBA) como uma capacidade crítica de negócios para fornecer às empresas melhores meios para obter valor de uma quantidade cada vez maior de dados e obter uma poderosa vantagem competitiva (CHEN *et al.*, 2012).

A principal premissa da análise de *big data* é que, ao analisar grandes volumes de dados não estruturados de várias fontes, podem ser gerados entendimentos acionáveis que podem ajudar as empresas a transformar seus negócios e obter uma vantagem sobre a concorrência (CHEN *et al.*, 2012).

Apesar de muitas promessas da análise de *big data*, tem havido significativamente menos pesquisas sobre como as organizações precisam ser estruturadas para gerar valor comercial a partir desses investimentos e uma compreensão limitada sobre a interação de fatores que impulsionam ganhos de desempenho (VIDGEN *et al.*, 2017). Uma capacidade de análise de *big data* é definida como a capacidade de uma empresa de capturar e analisar dados para a geração de entendimentos, orquestrando e implantando efetivamente seus dados, tecnologia e talento (MIKALEF *et al.*, 2018).

Empresas de pequeno e médio portes costumam encontrar dificuldades em termos de rastreabilidade de seus processos produtivos, principalmente no tocante ao acompanhamento remoto e em tempo real de indicadores chaves de processo.

Dentro do contexto exposto, este trabalho busca propor e implementar um sistema de rastreabilidade associado às atividades individuais de um processo produtivo de tanques de capacitores de aço inox.

A empresa objeto de estudo é de pequeno porte e fabrica, dentre outros produtos,

tanques de capacitores de potência. A implementação da rastreabilidade interna no sistema de produção de tanques de capacitores deve ser vista dentro de um sistema de gestão da qualidade, não somente do produto em si, mas também dos diversos processos de produção, sob a responsabilidade de diferentes membros da empresa.

A partir da identificação, a rastreabilidade é a atividade de reconstrução das informações sobre procedência do material utilizado em determinado lote de produto (CHAPAVAL *et al.*, 2008). Além de controlar, acompanhar e preservar a ordem de fabricação e identificar o produto, em geral, a rastreabilidade é obrigatória para que se tenha o conhecimento da vida de um determinado produto. A partir do momento em que o produto (ou suas partes constituintes) é rastreado, é possível seguir o processo inverso e descobrir qual a matéria-prima ou componente utilizado na produção de um produto reclamado pelo cliente, quais os testes realizados na linha de produção de tanques de capacitores e o responsável pela etapa da confecção e teste do produto. Neste trabalho, a identificação se dará através de código de barras atribuído ao produto no início do seu processo produtivo.

Com a utilização de códigos de barras e determinação dos lotes de matéria-prima é possível saber, por exemplo, em quais outros produtos aquele mesmo material foi utilizado e, em caso de falhas, os produtos associados são facilmente identificados, fazendo com o que os custos com não-qualidade sejam minimizados, pois o sistema de rastreabilidade poderia apontar um problema de matéria-prima específica da cadeia de produção, em um provedor externo, ou até mesmo no cliente. Identificando-se o problema, pode-se retirar do mercado os produtos irregulares e corrigir os problemas exatamente onde eles ocorreram. Segundo Alter (1991) o sistema de informação é resultante da combinação de práticas de trabalho e tecnologia da informação. Pode-se notar que a junção entre métodos de trabalho usados pelos colaboradores envolvidos no objeto de estudo da cadeia produtiva juntamente com as informações do sistema de rastreabilidade advindas de hardware e software através do uso das ferramentas da Indústria 4.0, passam a ter um controle de qualidade da origem do produto e a sua distribuição ao longo da cadeia de valor com mais propriedade e controle.

A rastreabilidade interna ou de processo da empresa é embasada no conceito de rastreabilidade de produto, adotado pelo objeto de pesquisa, ou seja, desde a aquisição da matéria-prima, juntamente com o conjunto de ações e procedimentos que tornam possível registrar e identificar um produto e as suas etapas dentro da cadeia de suprimentos até o processo de expedição final.

Neste sentido, a rastreabilidade interna refere-se ao acompanhamento dos produtos no ambiente de fábrica. Isto abrange desde a lista de materiais que compõe o produto,

equipamento de movimentação utilizado, medidas relacionadas ao manuseio até a fabricação.

Em resumo, busca-se, com o presente trabalho, desenvolver um sistema de rastreabilidade aplicado à cadeia produtiva de tanques de capacitores de aço inox de uma empresa de pequeno porte, utilizando ferramentas da Indústria 4.0. Para isso, buscar-se-á o emprego de hardwares de baixo de custo na implementação do sistema.

## 1.2 Justificativas e contribuições

Partindo da premissa de que muitas empresas de pequeno e médio portes têm dificuldades em rastrear de modo efetivo e automatizado seu processo produtivo, como afirmam Hegedus *et al.* (2018), é pertinente a proposta deste trabalho ao envolver a rastreabilidade com a Gestão da Qualidade, pois são dois elementos para o desenvolvimento e evolução do processo produtivo. O sistema de gestão da qualidade acaba por atuar como um elo entre os diferentes departamentos dessas empresas.

A motivação para este trabalho veio da necessidade da rastreabilidade demandada pelo cliente de empresas de pequeno e médio portes e, como consequência, vieram os pilares da Indústria 4.0 para auxiliar o desenvolvimento e implementação do sistema de rastreabilidade, denominado, no decorrer deste documento, de RAST 4.0.

Leite (2008) afirmou que o sistema de rastreabilidade para as empresas deve servir como forma de proteção à saúde do consumidor, como meio de informação para controle de processos e gestão, para assegurar a qualidade e a certificação do produto, como forma de apoio em casos de *recall* e como forma rápida de detecção de possíveis problemas.

O conceito de internet das coisas aliado a produtos com identificação trará facilidades nas tomadas de decisão, podendo garantir os processos aos quais esse produto foi submetido, podendo rastreá-lo, caso haja problema no lote, e monitorar sua qualidade até o final da cadeia. O presente trabalho considera esse conceito visando a manter o acesso à informação durante todo o processo produtivo, não restringindo nenhum tipo de informação da mesma. Dessa forma, até mesmo o cliente final poderá ter acesso a todas as etapas do processo, fazendo o mesmo como um elo ativo e não mais passivo no processo produtivo.

Os pilares da Indústria 4.0 que serão usados nesse trabalho são: internet das coisas (*IoT*), *big data*, computação nas nuvens e integração de sistemas. Esses temas serão apresentados de forma detalhada no capítulo 2.

Por fim, a rastreabilidade oportuniza novas pesquisas, principalmente se forem direcionadas para o desenvolvimento de novas ferramentas e métodos que aprimorem o processo em função do monitoramento dos indicadores criados que resultam em maior conhecimento do processo, possibilitando seu maior controle. Um processo melhor controlado permite ganhos como redução de desperdício, mitigação de perdas, aumento da produtividade, melhora das margens de lucros, dentro outros.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho é a proposição e implementação de uma sistemática automatizada de rastreabilidade interna de processos produtivos utilizando tecnologias da Indústria 4.0.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Desenvolver um software de rastreabilidade personalizado para operar na empresa objeto de estudo visando a atender tecnologias utilizadas na Indústria 4.0.
- Gerar indicadores da qualidade, permitindo uma atuação mais ágil das deficiências do processo através do uso de leitor de código de barras.
- Analisar os resultados por meio da aplicação da rastreabilidade automática do processo, permitindo tomadas de decisão mais robustas e confiáveis.
- Garantir a confiabilidade do processo exigido pelo cliente.

## **1.4 Delimitação do tema e características do processo**

Este trabalho será realizado em uma das plantas da empresa de pequeno porte (EPP) do objeto de estudo que atua na fabricação de tanques de capacitores de potência, com solda robótica em aço inoxidável AISI 304 e aço inoxidável AISI 409, sob medida para indústria do setor de energia.

A empresa de base tecnológica possui linha de produção linear em formato de U de Tanques de Capacitores. As etapas são divididas em corte, dobra, solda, estanqueidade, inspeção e acabamento, lavagem, secagem e embalagem, conforme a Figura 1.

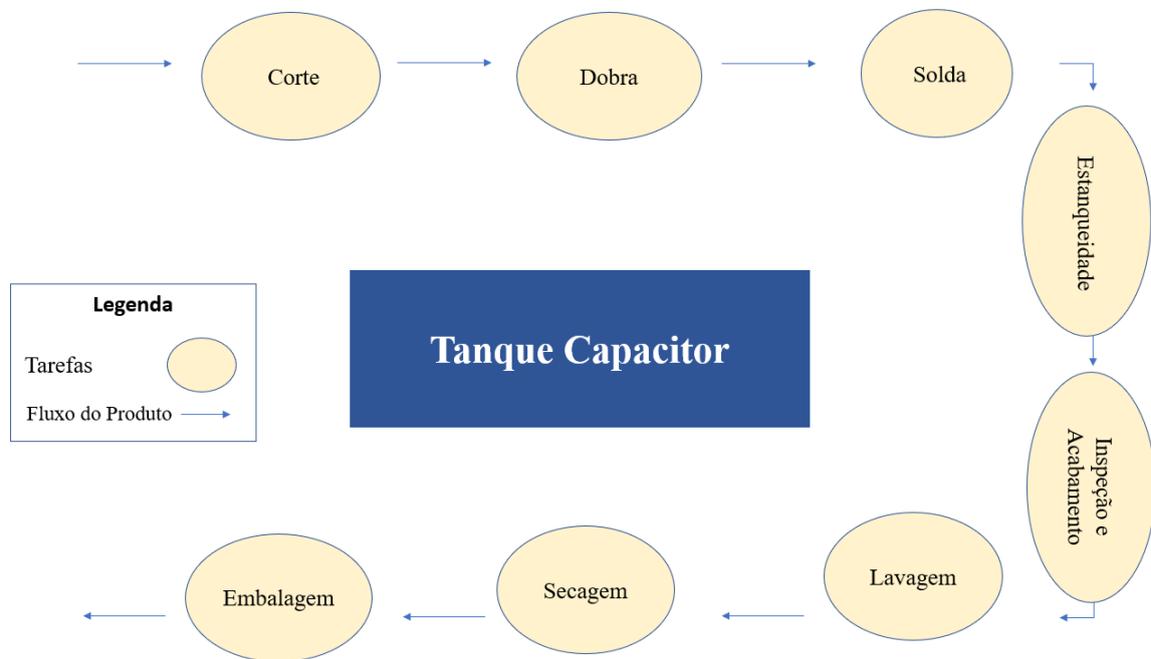


Figura 1 – Linha de produção do tanque de capacitor – Fluxo Linear – em U

Fonte: Autor (2023)

Tendo em vista o estudo da literatura (LUTOSA *et.al.*, 2008) para classificar o sistema de produção do objeto de estudo, caracteriza-se que o processo produtivo tem uma sequência de operações bem definidas em formato de U. O *layout* é classificado em fluxo (*flow shop*) que atende às necessidades de produtos similares, alto volume por encomenda, fluxo linear, contendo ciclo rápido (*lead time*) e um baixo custo unitário de produção.

Já o tipo de operação, nesse caso, é processo contínuo onde envolve a produção de bens e serviços que não podem ser identificados individualmente e apresentam alta uniformidade na produção. Os produtos e processos são interdependentes com pouca ou nenhuma flexibilidade. O sistema de produção contínuo é aquele cujos produtos não mudam, enquanto repetitivos ou sob encomenda.

A Figura 2 apresenta o modelo do sistema de produção do tanque de Capacitor.

A classificação do ambiente de produção se faz por (MTO) – *Make to Order*, ou seja, “produzir sob encomenda”, a etapa da produção só se inicia após o recebimento formal do pedido do Cliente. O prazo de atendimento no caso do tanque de capacitor é alto e os estoques concentram-se no início da cadeia produtiva, ou seja, nas entradas do processo.

O princípio da organização do sistema da produção é puxado, ou seja, as estações de trabalho produzem de acordo com a demanda real apresentada. Este sistema se baseia no princípio de que um processo posterior pede e retira peças do estoque de um processo anterior apenas na proporção e na hora que são necessárias.

Para esse processo a proposta é para uma rastreabilidade interna com o auxílio de um software personalizado, utilizando as seguintes tecnologias da Indústria 4.0: internet das coisas (*IoT*), *big data*, computação nas nuvens e integração de sistemas.

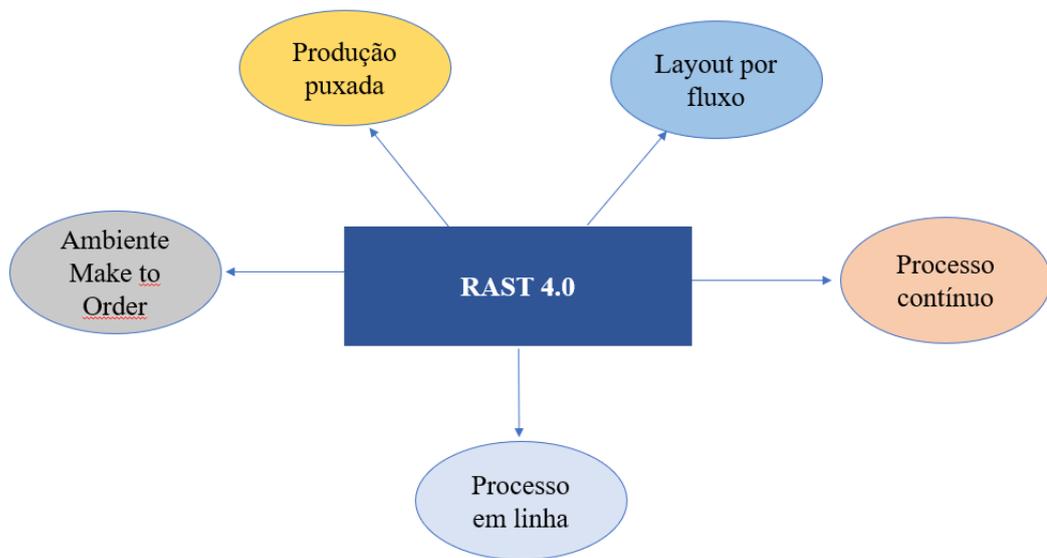


Figura 2 – Classificação do sistema de produção do tanque de capacitor

Fonte: Autor (2023)

## 1.5 Estrutura do trabalho

Para atingir o objetivo definido, o presente trabalho foi estruturado em mais quatro capítulos, além desta introdução.

O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica com o objetivo de compreender o estado da arte dos sistemas de rastreabilidade no contexto da Indústria 4.0.

O capítulo 3 apresenta o método científico da pesquisa.

O capítulo 4 apresenta o desenvolvimento da pesquisa.

O capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Considerações Iniciais

Este capítulo visa a apresentar a fundamentação teórica em que se alicerça este trabalho, com o objetivo de construir um elo entre os conhecimentos outrora produzidos a fim de fornecer proposições teóricas do Sistema de Rastreabilidade no contexto da Indústria 4.0 e o panorama da história das revoluções industriais ao longo do tempo e também apresentar a 4ª Revolução Industrial, seus princípios e ferramentas.

### 2.2 Revisão Sistemática da Literatura (RSL)

Com o objetivo de compreender o estado da arte dos sistemas de rastreabilidade no contexto da Indústria 4.0, o presente estudo apresenta como procedimento metodológico a Revisão Sistemática de Literatura (RSL). Segundo Moher *et al.* (2009), a RSL trata-se de uma revisão de uma questão claramente formulada buscando identificar, selecionar e avaliar criticamente estudos relevantes, além de coletar e analisar dados das pesquisas incluídas na revisão por meio de métodos sistemáticos e explícitos. Diferente das revisões narrativas tradicionais, as revisões sistemáticas seguem um processo replicável, científico e transparente, de forma a compreender o estado da arte e aumentar o rigor metodológico, minimizando os possíveis vieses na busca de estudos publicados na literatura sobre o tema estudado (TRANFIELD *et al.*, 2003).

O presente estudo embasou a revisão sistemática de literatura utilizando o protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analysis*), proposto por Moher *et al.* (2009). Este método ajuda a orientar pesquisadores na produção científica baseada em evidência e é representado por um fluxograma dividido em quatro partes, sendo elas: (i) Identificação, (ii) Seleção, (iii) Elegibilidade, e (iv) Inclusão. Na etapa Identificação, considerando que o termo Indústria 4.0 surgiu publicamente em 2011 na Alemanha na feira de Hannover, foram feitas buscas nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science* de artigos científicos publicados nos últimos 12 anos, no dia 11 de abril de 2022. A escolha dessas bases de dados se deve à sua maior abrangência temporal de estudos na literatura, com periódicos de alto impacto e por possuírem ferramentas eficazes na busca de trabalhos científicos (CHADEGANI *et al.*, 2013). Os parâmetros da pesquisa são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros de pesquisa.

Fonte: Autor (2022)

<b>Termo de pesquisa (ABS, TITLE OR KEYWORDS)</b>	<b>Grupo 1</b>	<i>"4th industrial revolution" OR "fourth industrial revolution" OR "industrie 4.0" OR "smart manufacturing" OR "smart industry" OR "smart factory" OR "advanced manufacturing" OR "industry 4.0"</i>
	<b>Grupo 2</b>	<i>"traceability" OR "traceability system"</i>
<b>Fórmula de pesquisa</b>	<b>Grupo 1 AND Grupo 2</b>	
<b>Língua</b>	Inglês	
<b>Tipo de publicação</b>	<i>Journals and Conference Paper</i> , exceto livros, capítulos de livros, entre outros tipos de documentos	
<b>Fase de publicação</b>	Final	
<b>Anos de publicação</b>	A partir de 2011 (Início da Indústria 4.0)	

Nessa primeira etapa, com os parâmetros de pesquisa definidos, foram localizados 325 artigos nas bases científicas. Na etapa de Seleção, toda a compilação e análise dos dados foi realizada através de um *software* estatístico RStudio, com auxílio do pacote Bibliometrix, no qual foram removidos todos os artigos duplicados ou com texto completo indisponível. Após essa etapa, ficou definida uma amostra de 258 artigos para a análise bibliométrica, que permite obter uma visão geral das publicações relacionadas aos temas com foco em rastreabilidade na Indústria 4.0. Na terceira etapa do fluxograma, realizou-se a análise de Elegibilidade por meio da leitura do título e resumo dos artigos selecionados, excluindo da amostra 156 estudos que não eram condizentes com o objetivo do trabalho ou que estavam duplicados, restando assim 102 artigos com base no título e resumo. A quarta e última etapa do método PRISMA, é a Inclusão, momento em que é estabelecida uma amostra final de 16 artigos, utilizados na análise qualitativa e revisão. A escolha dos 16 artigos se deu pelo critério de seleção daqueles trabalhos com maior correlação com o tema desta dissertação.

A Figura 3 apresenta o fluxograma das etapas adotadas nesta revisão sistemática de literatura. Nela é possível se observar passo a passo como foi utilizado o método PRISMA e como se deu a inclusão dos 16 artigos escolhidos. Por sua vez, o Anexo A apresenta dos 16 artigos selecionados após a análise sistemática.

Através da análise realizada com o auxílio do pacote Bibliometrix, foi possível obter indicadores de publicação, autores, periódicos, países e principais palavras-chaves em que foram publicados os artigos selecionados como amostra de estudo. Para Vanti (2002), a bibliometria baseia-se numa abordagem quantitativa e estatística de artigos encontrados para

a fundamentação teórica de uma pesquisa, onde é mapeado o cenário científico atual de um tema.

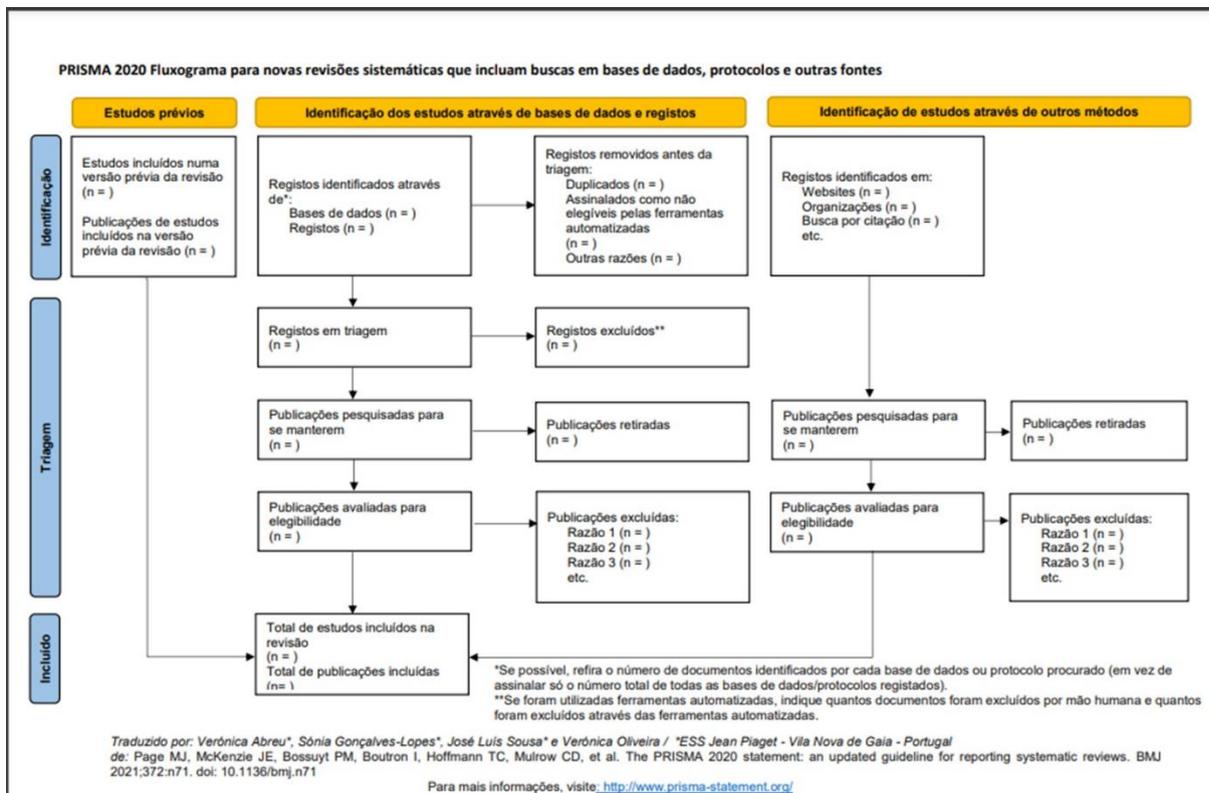


Figura 3 – Fluxograma do método PRISMA

Fonte: Autor (2023)

Como citado anteriormente, foram analisados 258 artigos publicados em 167 diferentes periódicos, sendo 9,54 a média de citações por documento. Os artigos publicados compreendem um horizonte temporal de 2012 até 2022 com uma taxa anual de crescimento percentual da produção científica de 20,58%, o que indica um crescimento constante. Na Figura 4 é apresentado o número de publicações sobre o tema ao longo do tempo.

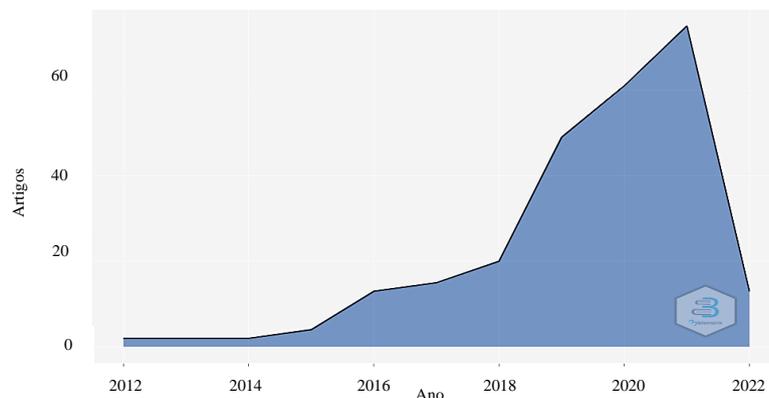


Figura 4 – Número de artigos publicados por ano

Fonte: Autor (2022)

Em associação, 871 autores compõem a amostra e o índice de colaboração entre eles é de 3,57, uma média de três autores por artigo. Na Figura 5 são apresentados os 10 autores com maior número de publicações na amostra.

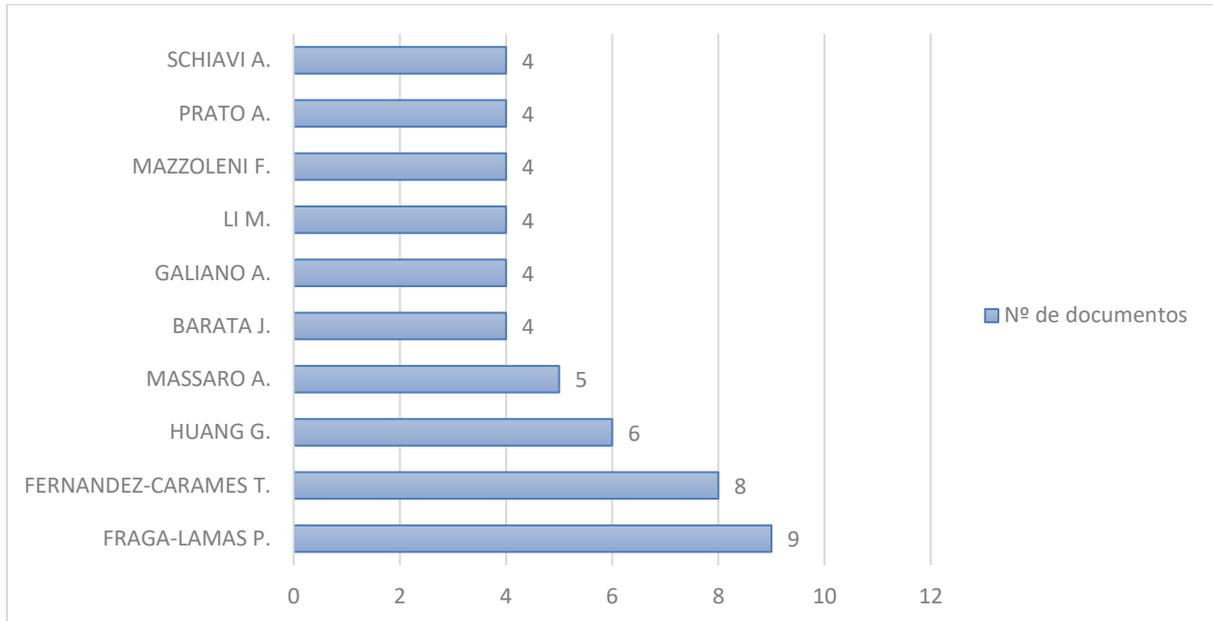


Figura 5 – Autores com maior número de publicações na amostra

Fonte: Autor (2022)

O autor com maior número de publicações no tema é Fraga-Lamas com 9 publicações, seguido por Fernández-Caramés com 8 publicações. Também figuram como autores com maior índice na amostra analisada, Huang e Massaro, com 6 e 5 publicações, respectivamente. Com relação às palavras-chave, a amostra apresentou 1538 (um mil quinhentos e trinta e oito) palavras-chave geradas automaticamente através dos títulos de artigos citados (*Keywords Plus (ID)*) e 874 palavras-chave definidas pelos próprios autores (*Author's Keywords (DE)*). A Figura 6 apresenta a Nuvem de Palavras da amostra analisada.

A Nuvem de Palavras é uma ferramenta que permite analisar as palavras-chave mais utilizadas pelos autores em publicações, sendo importante para investigar tópicos de tendência e o foco dos estudiosos na área (SONG *et al.*, 2019). Quanto maior a recorrência maior o tamanho de cada palavra, portanto observa-se que a palavra *Industry 4.0* é a mais recorrente com frequência de 76 vezes. Algumas das outras palavras-chave mais recorrentes pelos autores foram *blockchain*, *internet of things*, *manufacture*, *traceability*, *life cycle*, *radio frequency identification (RFID)* e *supply chains*. Na Tabela 2, são apresentados os países com maior quantidade de citações no tema, além do número de publicações sem colaboração (em único país) e com colaboração (em diversos países).



Ainda da Tabela 2, observa-se que o país com maior proporção de colaboração internacional nesta amostra é a Coréia do Sul com uma taxa de colaboração de 28,57%. Em se tratando do Brasil, o país está posicionado na 13ª colocação, com um total de 42 citações, 3 artigos e sem colaboração internacional. Em relação ao número de publicações por periódicos, a maior quantidade de artigos da amostra são 10 e está publicado no “IEEE Access”, seguido por 7 artigos no “Sensors”, ambos com Índices H igual a 7. No mesmo sentido, o Qualis Scopus desses dois periódicos foi muito bem avaliado, uma vez que são classificados com Qualis A2 e A1, respectivamente. Já a instituição com maior quantidade de artigos publicados no tema é a Universidade de Corunha, uma instituição pública localizada na Espanha, com um total de 14 artigos publicados. Cabe ressaltar que os dois autores com maior número de publicações no tema pesquisado, Fraga-Lamas e Fernández-Caramés, conforme evidenciado na Figura 5 pertencem à Universidade da Corunha.

Na sequência, outros aspectos da evolução do tema são apresentados sob o ponto de vista histórico, onde se é possível observar as diversas demandas impostas pela necessidade de melhoria, como de disposição da aplicação de renovações da tecnologia e que também trouxeram grandes transformações sociais.

## **2.3 História da Revolução Industrial**

Com o surgimento das revoluções industriais desde o século XVIII, conforme Sakurai e Zuchi (2018), o mundo assistiu ao surgimento da Indústria, sendo um dos marcos da evolução histórica.

A primeira revolução começou com a invenção da máquina a vapor por James Watt e criou a industrialização primária na Europa durante os séculos XVIII e XIX. A segunda revolução ocorreu no início do século XX com a invenção da linha de montagem de Henry Ford que introduz o conceito de produção seriada e permite a produção em massa, reduzindo prazos e custos de produção. A terceira revolução começou próximo de 1960, quando um computador foi inventado e, mais tarde, os robôs industriais (MAKSIMCHUK; PERSHINA, 2017).

As revoluções industriais começaram a ocorrer a partir do século XVIII e, até hoje, foram concluídas três. Junto dessas revoluções surgiu uma série de avanços tecnológicos que aumentaram a produtividade das organizações envolvidas, reduziram os custos de produção e aumentaram a eficiência por meio da introdução de tecnologias.

Cada revolução econômica e industrial traz novos desafios e determina novas

abordagens dentro das organizações (PEREZ, 2010).

Na Inglaterra, no período de 1760 e 1840, aconteceu a Primeira Revolução Industrial, onde, caracterizou-se pela substituição progressiva dos métodos artesanais por máquinas e ferramentas, pela exploração do carvão como energia alternativa à madeira e outros biocombustíveis e pelo uso crescente da energia do vapor (COELHO, 2016). Tal revolução também foi marcada pela adaptação das máquinas industriais aos motores e caracterizada pela divisão do trabalho, o emprego da produção em massa possibilitada pela energia elétrica, a exploração de novos materiais como aço e sintéticos e pela utilização de novos tipos de combustíveis como o petróleo. Esta revolução trouxe ainda a conversão da energia obtida por meio do vapor d'água em energia mecânica e a ferrovia.

A Segunda Revolução Industrial difundiu a eletricidade, a produção em massa e o rádio (MONTEIRO, 2016).

A Terceira Revolução se situa nas décadas de 1950 e 1970 e é marcada pela revolução digital com a proliferação e uso dos semicondutores, dos computadores, da automação e robotização em linhas de produção (com informações armazenadas e processadas de forma digital), das comunicações, dos telefones móveis e da internet (COELHO, 2016).

A Quarta Revolução industrial, também conhecida como Indústria 4.0 (I4.0) é definida como:

“um fenômeno no qual tecnologias emergentes do mundo físico, digital e biológico convergem para revolucionar as cadeias de valores globais, causando disruptura nos modelos de negócios, remodelando produção, distribuição e consumo, e está mudando a forma como vivemos, trabalhamos e nos relacionamos” (SCHWAB, 2016, p. 1).

A Figura 7 ilustra as transformações históricas das revoluções industriais, as quais trouxeram grandes mudanças no comportamento do homem e, conseqüentemente, na sociedade.

O conceito da Indústria 4.0 é a mais recente revolução. Uniu a manufatura com a internet e suas discussões se iniciaram em Hannover, no ano de 2011, onde o governo alemão apresentou a Indústria 4.0 como uma das suas principais iniciativas para assumir a liderança em inovação tecnológica. Inúmeras publicações acadêmicas, artigos e conferências estão discutindo esse tópico (BAUERNHANSL *et al.*, 2015). De acordo com Roblek (2016), trata-se de uma proposta para o desenvolvimento de um novo conceito da política econômica alemã baseada em estratégias de alta tecnologia.

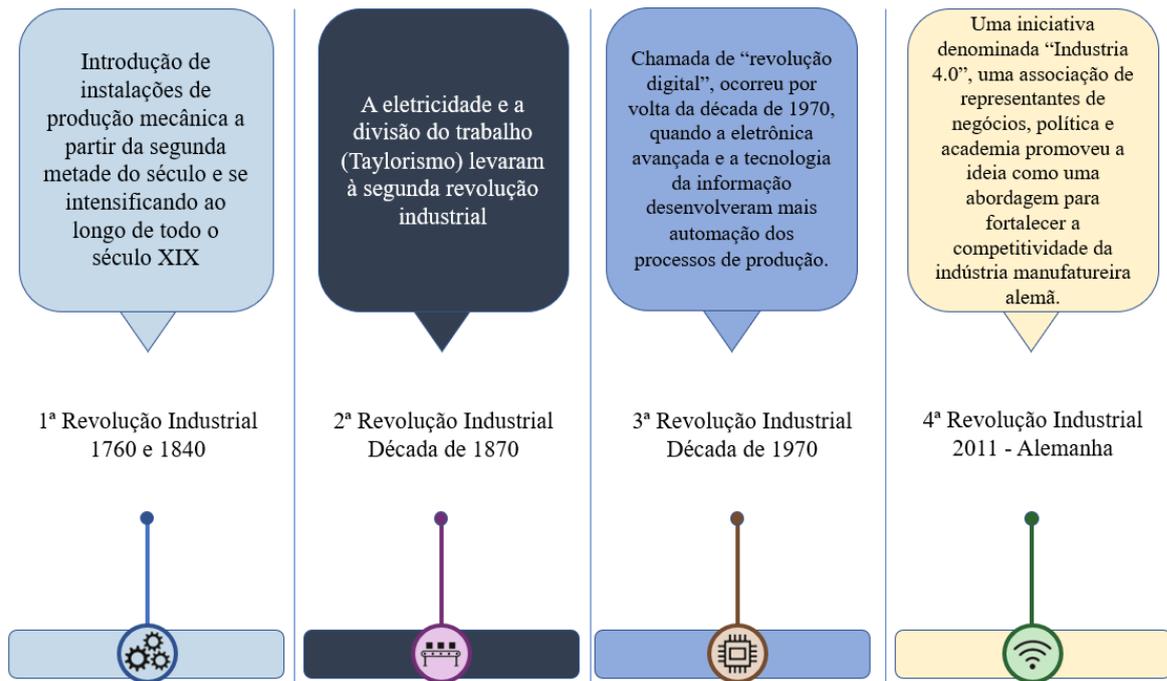


Figura 7 – História da Revolução Industrial

Fonte: Adaptado de Hermann, Pentek e Otto (2016) e Kagermann, Lucas e Wahlster (2011)

A Quarta Revolução Industrial (Indústria 4.0) utiliza as inovações tecnológicas para aprimorar os processos produtivos por meio da integração de mais tecnologias de automação, controle e informação (M. Y. SANTOS *et al.*, 2017). Esta revolução teve seu conceito alinhado em 2015 na Alemanha, no Fórum Econômico Mundial, ficando conhecida como a conectividade entre pessoas e máquinas, objetivando a troca de dados (OIAN, 2018). Contudo, múltiplas interpretações para a Indústria 4.0 podem ser encontradas na literatura.

Com o avanço das tecnologias computacionais e industriais surgiram diversas ferramentas para auxiliar a gestão de manufatura, tais como automação industrial, digitalização de informações, controle e tecnologia da informação. Essas ferramentas têm como objetivo auxiliar a coleta e análise de dados, possibilitando assim uma tomada de decisão mais assertiva (GAZIERO, 2019).

Com o surgimento da Indústria 4.0 criou-se oportunidades para definir roteiros e processos de manufatura, a fim de acompanhar as mudanças desse novo ambiente industrial.

Para Blanco-Novoa *et al.* (2018), o conceito da Indústria 4.0 promove a evolução das fábricas tradicionais para fábricas inteligentes através do uso de algumas das mais recentes tecnologias, como impressão 3D, realidade aumentada, sistemas ciberfísicos, computação em névoa, ou Internet das Coisas Industrial (*IoT*). Robótica e Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) também são considerados tecnologias-chave para as futuras fábricas inteligentes,

pois permitem realizar tarefas repetitivas e perigosas sem quase intervenção ou supervisão humana (FRAGA LAMAS *et al.*, 2018).

A Indústria 4.0, como uma revolução industrial, tem a finalidade de promover modificações comportamentais no modo e método em que empresas, negócios e pessoas entendem e manipulam os benefícios tecnológicos herdados da terceira revolução tecnológica. Para Ruttimann e Stockli (2016), a Indústria 4.0 é capaz de unir, integrar e virtualizar continuamente os sistemas, as pessoas, os processos e ambientes uns com os outros, sendo responsável por esta transição entre o mundo real e o virtual.

### **2.3.1 Indústria 4.0**

O termo “Indústria 4.0” tornou-se conhecido publicamente em 2011, quando uma iniciativa denominada “Indústria 4.0” – uma associação de representantes de negócios, política e academia – promoveu a ideia como uma abordagem para fortalecer a competitividade da indústria manufatureira alemã (KAGERMANN, LUCAS e WAHLSTER, 2011).

O governo federal alemão apoiou a ideia anunciando que a Indústria 4.0 seria parte integrante de sua iniciativa “*High-Tech Strategy 2020 for Germany*”, visando à liderança em inovação tecnológica. O “Grupo de Trabalho da Indústria 4.0” posteriormente formado desenvolveu as primeiras recomendações para implementação que foram publicadas em abril de 2013 (KAGERMANN *et al.*, 2013). Nesta publicação, Kagermann *et al.* (2013) descrevem sua visão da Indústria 4.0 da seguinte forma: “no futuro, as empresas estabelecerão redes globais que incorporarão suas máquinas, sistemas de armazenamento e instalações de produção na forma de Sistemas Ciberfísicos (CPS)”.

Segundo Caramés *et al.* (2018), a Indústria 4.0, com suas tecnologias emergentes, abre caminho para um mundo onde fábricas inteligentes serão automatizadas junto de seus processos por meio do uso de algumas das mais recentes tecnologias emergentes. A Indústria 4.0 surge através do conceito de vários desenvolvimentos tecnológicos envolvendo produtos e processos (SCHMIDT *et al.*, 2015). Empresas da Europa, Estados Unidos e Ásia (THE BOSTON CONSULTING GROUP, 2015) já adotam elementos dessa revolução, que enfrenta o desafio de ser altamente automatizada e rentável, além de ser capaz de fornecer produtos diferenciados e personalizados em um ambiente de produção em massa. A Indústria 4.0 promete maior eficácia operacional, ganhos de produtividade, crescimento e melhoria da competitividade, bem como o desenvolvimento de novos modelos de negócios, serviços e

produtos (KAGERMANN *et al.*, 2013; KAGERMANN, 2014). A mudança de paradigma proporcionada pela Indústria 4.0 mostra o potencial de revolucionar as noções contemporâneas de gestão da produção. A introdução dos sistemas ciberfísicos (*CPS*) e várias tecnologias de fronteira, como a Internet das Coisas industrial (*IIoT*), gêmeo digital e análise de dados desbloqueiam novos recursos para aumentar a produtividade, qualidade, custo-benefício e sustentabilidade (OLSEN e TOMLIN, 2020; PARENT *et al.*, 2020).

A base de uma indústria vista como 4.0 consiste nos Cyber Physical Systems (*CPS*), na Internet das Coisas (*IoT*) e na Internet dos Serviços (*IoS*). Esses “conceitos” estão intimamente ligados entre si, já que o *CPS* se comunica sobre a *IoT* e *IoS*, possibilitando assim a chamada “fábrica inteligente”, que se baseia na ideia de um sistema de produção descentralizado, no qual “seres humanos, máquinas e recursos se comunicam entre si de forma tão natural quanto numa rede social” (WINTER, 2013). Conforme Broy (2010) e Lee (2008), os *CPS* são sistemas automatizados que permitem a conexão das operações da realidade física com infraestruturas de computação e comunicação. Em contrapartida, o oposto dos sistemas embarcados tradicionais, que são projetados como dispositivos autônomos, o foco nos *CPS*s estão na rede de vários dispositivos

A expectativa é gerar ganhos de produtividade de cerca de 78 milhões de euros em seis setores até 2025 (BAUER *et al.*, 2014).

Segundo Rosin (2019), uma mudança de paradigma tecnológico parece estar ocorrendo nas empresas de manufatura: a Indústria 4.0, em vários países, leva nomes diferentes, como mostra a Figura 8.

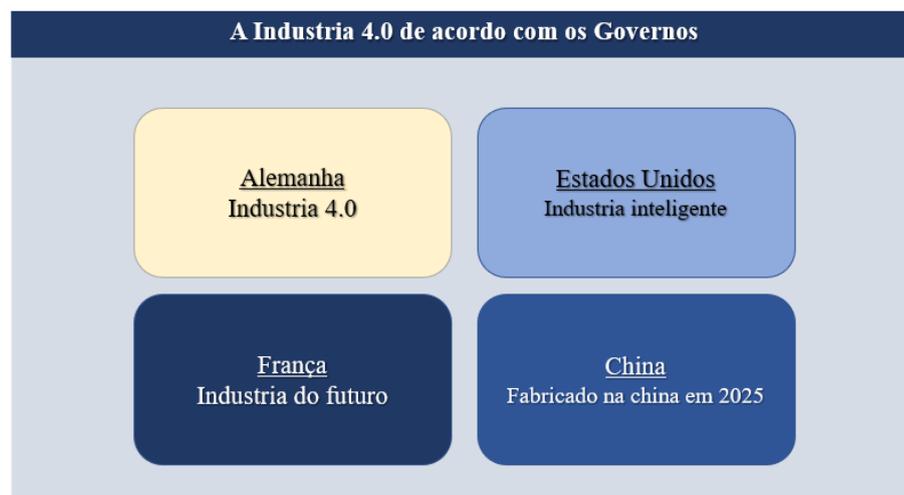


Figura 8 – Indústria 4.0 x Governos

Fonte: adaptada de Rosin (2019)

Na Alemanha, por exemplo, o governo federal reservou 200 milhões de euros para subsidiar a "Indústria 4.0". Sua visão: ajudar as empresas a aproveitar a inteligência gerada pela IoT para otimizar os processos, aumentar a eficiência e estimular uma maior inovação. Nos Estados Unidos, uma coalizão patrocinada pelo governo formou-se com um objetivo semelhante. A *Smart Manufacturing Leadership Coalition* (Colisão para a Liderança da Manufatura Inteligente) se concentrou na implementação de "melhores práticas de fabricação inteligente do século XXI". A principal é aplicar uma arquitetura de referência que permita uma colaboração e integração perfeitas entre Tecnologia da Informação (TI) e Tecnologia Operacional (OT) (Hannah, 2015). Como a ideia é permitir que as empresas de manufatura façam uma grande mudança tecnológica através da interconectividade de produtos, máquinas, a cadeia de suprimentos e os clientes, e usando os recursos crescentes de tomada de decisão dos sistemas, as empresas podem melhorar sua agilidade, com alta variabilidade em alta velocidade e lucratividade.

Essa nova revolução força as indústrias a verificar suas estratégias diante do mercado que se aproxima e do surgimento das necessidades dos seus clientes em seus processos de desenvolvimento.

Um conjunto de tecnologias está sendo considerado responsável por acelerar a transição do ambiente de produção tradicional para o ambiente descentralizado exigido pela Indústria 4.0 (MARTINEZ *et al.*, 2016).

Como um consenso sobre a definição da Indústria 4.0 ainda não foi alcançado, há mais de 100 definições diferentes do conceito e, de acordo com Moeuf *et al.*, (2017), múltiplas abordagens para a Indústria 4.0 podem ser encontradas na literatura.

De acordo com Rosin *et.al.* (2019), por meio das áreas que abrangem a Indústria 4.0 como uso da Internet das Coisas, sistemas ciberfísicos e computação em nuvem, entre outros, é possível atingir níveis de desempenho operacional antes inacessíveis. Mayr *et al.* (2018) argumentam que processos padronizados, eliminação de desperdícios e um foco constante no valor para o cliente são fundamentais para a introdução da Indústria 4.0. Conforme o *European Parliament* (2016), as empresas que estão rumo à Indústria 4.0 devem avaliar suas capacidades e adaptar suas estratégias de forma a implementá-la nos cenários apropriados. Ultrapassar os desafios que vem pela frente em um ambiente um tanto desconhecido envolverá o cumprimento de alguns requisitos como:

- responder às questões de segurança e proteção digital;
- padronização das interfaces de comunicação;
- processos e organização do trabalho;

- disponibilidade de força de trabalho capacitada;
- inserção das PMEs;
- formação e desenvolvimento profissional;
- base tecnológica;
- investigação;
- investimentos.

Lobo (2016) afirma que as soluções de *software* e *hardware* aceleram a transição para a fábrica inteligente e interconectada na Indústria 4.0. CEFRIO (2016) argumenta que a Indústria 4.0 é um conjunto de iniciativas para melhorar processos, produtos e serviços que permitem decisões descentralizadas com base na aquisição de dados em tempo real.

Um dos objetivos da Indústria 4.0 é a integração. Segundo Rübmann *et al.* (2015), a Indústria 4.0 é sustentada por nove pilares tecnológicos. Os pilares tecnológicos são descritos na Tabela 3, onde cada um deles melhora os aspectos da produção, planejamento de operação, manutenção de equipamentos e gerenciamento de estoques. Os pilares destacados em azul na Tabela 3 serão aplicados na pesquisa, como: *big data* e análise de dados, internet das coisas industrial *IoT*, integração de sistemas e nuvem.

Para Sacomano *et.al.* (2018), a Indústria 4.0 pode ser dividida em elementos de base ou fundamentais, estruturantes ou complementares. Os elementos considerados, segundo o autor, são os sistemas ciberfísicos, *IoT* e internet de serviços. Compõem os elementos estruturantes a automação, a comunicação máquina a máquina (do inglês, *Machine to Machine M2M*), a inteligência artificial (do inglês, *Artificial Intelligence AI*), a análise de *big data* (do inglês, *big data analytic*), computação em nuvem, integração de sistemas e segurança cibernética. Enquanto os elementos complementares são compostos por etiquetas RFID (do inglês, *radio-frequency identification tag RFID*), código QR (do inglês, *quick response code - QR code*), realidade aumentada (do inglês, *Augmented Reality AR*), realidade virtual (do inglês, *virtual reality VR*) e manufatura aditiva ou impressão 3D.

Segundo Almeida (2019), a implantação dos conceitos da Indústria 4.0 permite, todavia, modernizar os processos produtivos e busca aumentar a competitividade da empresa e a satisfação do cliente por meio de um atendimento especializado. Para o autor, os processos de fabricação devem ser analisados a fim de encontrar soluções capazes de aumentar a lucratividade da empresa, reduzir os impactos ambientais e aumentar a satisfação do cliente. Para isso é necessário incorporar três princípios básicos da Indústria 4.0: integração vertical

e horizontal das cadeias produtivas de valor; digitalização do portfólio de produtos e serviços e modelos virtuais de negócios que permitam acesso ao cliente. Diante do avanço tecnológico, o trabalho das organizações será analisar uma enorme quantidade de dados, digitalizando informações dos processos, produtos e cadeia de valor, gerando novos modelos e estratégias de inovação e aumentando a competitividade da indústria.

Tabela 3 – As principais tecnologias da Indústria 4.0

Fonte adaptada: (M. Y. Santos *et al.*, 2017)

Os pilares tecnológicos conforme (RÜBMANN *et al.*, 2015) são:

Big data e análise de dados	Grandes quantidades de dados sobre a manufatura podem ser obtidas de diversas fontes, como os equipamentos de produção, sistemas de gestão de empresas e clientes, analisados e, assim, utilizados para a tomada de decisão em tempo real.
Robôs autônomos	Robôs já são utilizados na indústria, porém eles tendem a ser mais autônomos, podendo trabalhar ao lado dos humanos de forma segura, custando menos e tendo maiores capacidades.
Simulação	A tomada de decisão poderá ser auxiliada pelas simulações, que utilizarão informações obtidas em tempo real. A otimização de parâmetros poderá ser feita a partir de testes de otimização, feitos com modelos virtuais
Integração de sistemas horizontal e verticalmente:	Sistemas estarão mais integrados, até mesmo em redes Inter companhias, o que possibilitará maior automação.
Internet das Coisas Industrial ( <i>IIoT</i> )	A interação entre os mais diversos equipamentos será obtida pela Internet das Coisas Industrial, conectando equipamentos com processamento embarcado, auxiliando na obtenção de respostas em tempo real
Segurança cibernética	A maior conectividade demandará maiores proteções contra os cibernéticos, e, assim, impulsiona a construção de novas tecnologias para este fim.
Nuvem	O uso da computação em nuvem, que já vem sendo utilizada em aplicações empresariais e análise de dados, aumentará com a Indústria 4.0, contribuindo para ganhos em performance das tecnologias envolvidas, auxiliando questões entre companhias
Fabricação de aditivos	A Indústria 4.0 possibilitará a construção de produtos customizados, de forma descentralizada, reduzindo despesas com estoque, a partir do uso de tecnologias como as impressoras 3D.
Realidade aumentada	A tomada de decisão e o desenvolvimento de procedimentos serão auxiliados pela realidade aumentada, que suporta uma grande variedade de sistemas

Um dos pilares da **indústria 4.0**, a **integração de sistemas** busca conectar as áreas de uma companhia, visando extrair dados e informações. Assim, esses insumos podem ser usados para promover melhorias contínuas em todo o processo produtivo, bem como, nas áreas de suporte relacionadas.

Com processos e setores trocando informações de forma mais rápida, é possível tomar decisões mais assertivas e ágeis. Dessa forma, consegue-se otimizar recursos, diminuir perdas, focar no crescimento do negócio e até buscar a exploração de novos mercados.

Em um ambiente industrial sem **integração de sistemas**, o trabalho de captar as informações geradas por uma etapa de um processo de manufatura e abastecer a próxima é feito até de forma manual. Esse procedimento analógico se mostra, na maioria das vezes, ineficaz e sujeito a erros.

A falta de um sistema integrado na indústria também significa que a gestão tem mais trabalho para analisar se o produto que está sendo fabricado realmente atende à demanda recebida. Além disso, ainda é preciso verificar se os fornecedores e distribuidores estão alinhados com essa produção.

Existem duas maneiras diferentes de **como fazer integração de sistemas na Indústria 4.0**: a horizontal e a vertical. Cada uma delas possui grandes desafios a serem superados para a sua implantação. Mas, certamente, isso vale muito a pena em termos de competitividade.

A **integração horizontal na indústria 4.0** contempla todos os setores da empresa e seus respectivos sistemas da cadeia produtiva. Esse conceito tem o objetivo de fazer com que as diversas áreas trabalhem mais harmonicamente e haja otimização de recursos. A partir da definição de um fluxo eficiente de trabalho, conecta-se a fábrica à cadeia de valor externa a sua planta. Nesse contexto da integração de sistemas horizontal, os fornecedores passam a fazer parte ativa do processo. Da mesma forma, os clientes também devem ser integrados à indústria.

Com a sincronia gerada pela **integração horizontal**, maior controle de entrega e monitoramento logístico ou de prestação de serviço, a qualidade é aprimorada, elevando a satisfação dos consumidores.

Já a integração vertical na indústria 4.0 visa que todos os níveis da fábrica sejam conectados, desde a operação até a diretoria. Para isso, é necessário que sejam aplicadas as tecnologias integradoras, tais como:

- Robótica
- Sistemas de conexão máquina-máquina
- **Internet das coisas**
- Inteligência artificial
- **Computação em nuvem**
- **Big data**
- Manufatura digital e aditiva

A **integração vertical** exige a conexão dos específicos sistemas usados em cada etapa produtiva. Assim, a conexão dos dados entre todos os níveis hierárquicos ocorre de maneira mais rápida e eficiente. Permitindo redução do tempo de tomada de decisão e melhoria do processo de gestão na indústria.

De acordo com Buer *et al.* (2018), a Indústria 4.0 é caracterizada pelo uso de produtos e processos inteligentes, permitindo assim a coleta e análise autônoma de dados e a interação entre produtos, processos, fornecedores e clientes pela Internet.

Kohler e Weisz (2016) descrevem a Indústria 4.0 como uma nova abordagem para controlar a produção, fornecendo sincronização de fluxos em tempo real e permitindo a produção unitária e personalizada.

De acordo com o Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NIST, 2016), a manufatura inteligente é totalmente integrada, colaborativa, responde em tempo real às mudanças na fábrica, na rede de abastecimento e de acordo com as necessidades do cliente. Entre todas as definições, as palavras-chaves mais comuns são comunicação, flexibilidade e tempo real.

A introdução de novos conceitos como a produção baseada na Internet não só permite melhorar a comunicação entre fabricantes, clientes e fornecedores (URBIKAIN *et al.*, 2016) como cria novas maneiras de atender os clientes através de novos modelos de negócios.

As tecnologias da Indústria 4.0 são os meios para implementar os princípios de comunicação, flexibilidade e tempo real.

### **2.3.1.1 Níveis de capacidade da tecnologia da Indústria 4.0**

As tecnologias da Indústria 4.0 podem dar suporte à produção implantando diferentes recursos, dependendo das necessidades do sistema de produção. Dependendo do nível de complexidade das decisões a serem tomadas, da quantidade de informações a serem processadas ou da autonomia dos sistemas para tomar decisões sem intervenção humana, o nível de capacidade que é necessário será diferente.

Do ponto de vista de produtos inteligentes e conectados, Porter e Heppelmann (2014) propõem quatro níveis de capacidade, dados pela Figura 9. Esses níveis são incrementais e são baseados em cada nível anterior.



Figura 9 – Níveis de capacidade dos produtos inteligentes e conectados

Fonte: adaptada de Porter e Heppelmann (2014)

Segundo os mesmos autores, o nível de Monitoramento permite monitorar indicadores de condições de operação, parâmetros de segurança, indicadores de manutenção preventiva e indicadores de produção para benchmarking.

Diferentes elementos de produção podem gerar um alerta e notificações caso haja uma mudança na situação ou um desvio seja detectado (MOEUF *et al.*, 2017). Aqui, apenas as informações são transmitidas ao operador ou ao responsável pelo processo controlado.

Para o nível de Controle, com base no histórico de dados, comportamento padrão do sistema e desempenho esperado, algoritmos podem ser usados para detectar situações anormais. O controle, portanto, inclui o monitoramento através da incorporação de um ciclo de tomada de decisão (MOEUF *et al.*, 2017).

O nível de Otimização permite que algoritmos analisem o ambiente ou dados históricos para propor melhores resultados, utilização de recursos e eficiência (PORTER e HEPPELMANN, 2014). Usando painéis, modelagem e simulação de sistema, a utilização de recursos e o desempenho industrial podem ser otimizados em tempo real. O sistema então atua como um sistema de suporte à decisão, revisando uma ação sugerida ou um conjunto de alternativas onde o operador ou um gerente pode escolher a ação a ser tomada.

E por último, monitoramento, controle e tomada de decisão do sistema, otimizações em tempo real podem ser combinadas para tornar o sistema autônomo (PORTER e HEPPELMANN, 2014), que corresponde ao nível de Autonomia.

Os sistemas são então capazes de tomar decisões em tempo real, levando em consideração seu ambiente (CEFRIIO, 2016).

O sistema também é capaz de “aprender” com os resultados de decisões anteriores ou reagir de forma otimizada a uma mudança de necessidade (MOEUF *et al.*;2017).

Isso também pode incluir coordenação e comunicação com outros sistemas e produtos para melhorar os resultados (PORTER E HEPPELMANN, 2014).

### 2.3.2 Pilares da Indústria 4.0

A Indústria 4.0 contém nove pilares conforme apresentado pela Figura 10.

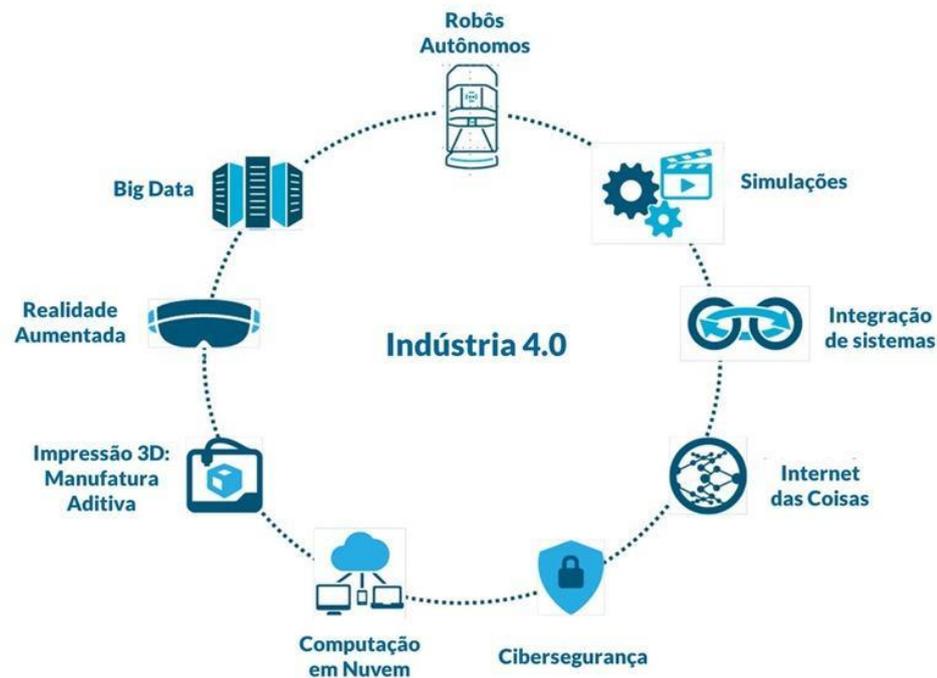


Figura 10 – Alicerces da Indústria 4.0

Fonte: Longo (2017)

A **Internet das coisas** (do Inglês, *internet of things* – *IoT*) tem como principal objetivo estabelecer conexões. Estas conexões ocorrem entre os objetos físicos presentes no meio industrial com uma rede de internet onipresente, permitindo a obtenção e intercâmbio contínuo de informações entre o ambiente físico e o virtual.

A Internet das coisas (*IoT*) surgiu com base na necessidade das cadeias de suprimentos e na identificação de objetos, pessoas e animais por meio do uso de etiquetas inteligentes de identificação por radiofrequência (*RFID*) (HAO *et al.*; 2012; ASHTON, 2009).

Segundo Ashton (2009), o termo Internet das coisas surgiu em 1999, sendo apresentado primeiramente no contexto da MIT Auto Centre, em uma apresentação sobre *RFID* e a cadeia de suprimentos de uma grande companhia, quando observou a aplicabilidade de etiquetas de rádio presença em produtos de uma linha de produção, beneficiando a logística. O conceito *IoT* (SERBANATI *et al.*, 2011 ; CERP-IoT 2010) se expande em torno de uma variedade de elementos regulares, coisas e objetos, como etiquetas de identificação por radiofrequência (*RFID*) (ASHTON, 2009), sensores, atuadores, smartphones e muitos outros dispositivos móveis, que são identificáveis, acessíveis e legíveis por meio de esquemas de endereçamento únicos, capazes de interagir uns com os outros e controláveis pela internet (GUBBI *et al.*, 2013).

A *IoT* alcançou tanto desenvolvimento e importância que vários relatórios a preveem como uma das tecnologias de maior impacto até 2025 (THE US NATIONAL INTELLIGENCE COUNCIL 2008; VERMESAN *et al.*; 2009).

Haller (2010) define *IoT* como um mundo onde objetos físicos estão perfeitamente integrados na rede de informação e onde os objetos físicos podem se tornar participantes ativos nos processos de negócio. Os serviços estão disponíveis para interagir com esses "objetos inteligentes" através da internet, consultar e alterar o seu estado e qualquer informação que lhes esteja associada, levando em conta questões de segurança e privacidade.

Ao longo do tempo, o termo evoluiu para um que descreve a *IoT* como uma rede de entidades que estão conectadas por meio de qualquer forma de sensor, permitindo que essas entidades conectadas à internet, sejam localizadas, identificadas e até mesmo operadas. (NG e WAKENSHAW, 2017).

*Internet of things (IoT)* é uma área de pesquisa que tem por finalidade interconectar dispositivos ou objetos utilizados no dia a dia, através da Internet, e assim influenciando na qualidade de vida e decisões de uma sociedade (ZHAMANOV, 2017). Consiste na presença de objetos inteligentes interagindo com as pessoas e com outros objetos para atingir objetivos comuns.

Com a introdução da *IoT* e evolução das tecnologias da informação criaram-se mecanismos para explorar as incertezas das informações coletadas em campo. Estas, ao serem analisadas, auxiliam as tomadas de decisão do operador, bem como na melhoria do processo de manufatura dos produtos (CHIEN, 2018).

Com os protocolos de comunicação *IoT* é possível melhorar a coleta de informações em um processo produtivo. Ao automatizar a coleta de dados em tempo real, o tempo gasto e a probabilidade de erro são reduzidos. O processo produtivo torna-se mais dinâmico no

ambiente fabril e há um aumento de informação para a tomada de decisão por parte dos gestores, através de informações mais precisas e em tempo real.

Os benefícios da implementação do *IoT* consistem no aumento da flexibilidade, melhoria e produtividade, controle do tempo de entrega, melhor controle da qualidade do produto e acompanhamento do processo produtivo como um todo. A Figura 11 apresenta as tecnologias envolvidas com o contexto de *IoT*.

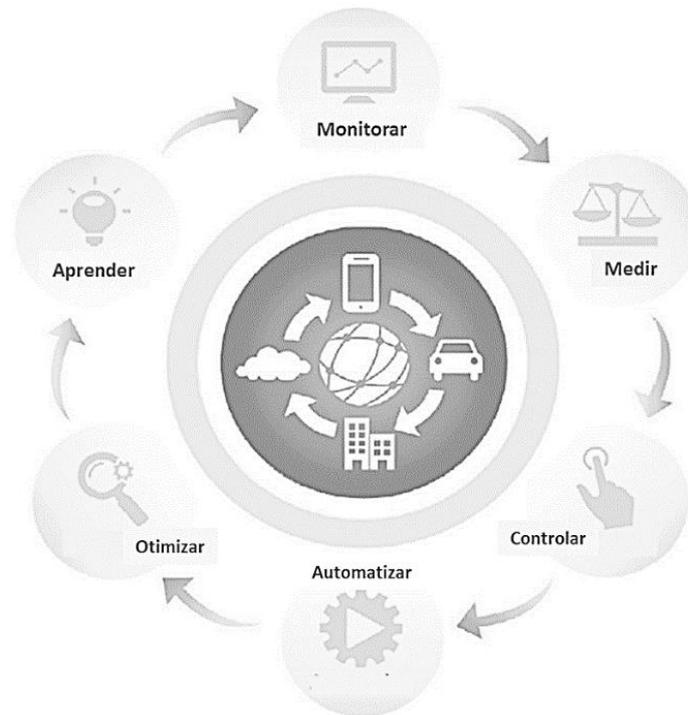


Figura 11 – Tecnologias do *IoT*

Fonte: adaptado de Malaucay *et al.*, (2015)

Logo, *IoT* promove um volume de informações em tempo real e seu acesso na entrada dos materiais na cadeia de suprimentos, podendo assim aumentar a eficiência da gestão de estoque e do processo produtivo. Entretanto, a cadeia de suprimentos representa todas as etapas envolvidas, desde a produção da matéria-prima até a distribuição do produto acabado ao consumidor final. As cadeias de suprimentos envolvem diversas etapas e pontos de localizações do produtivo, tornando muito difícil rastrear não-conformidades durante o processo que possam ser controláveis

Dessa forma, o conceito Internet das Coisas aliado a produtos com códigos de barra, conforme proposto neste trabalho, trará facilidades nas tomadas de decisão, podendo garantir os processos que esse produto sofreu, podendo rastreá-lo, caso haja problema no lote e monitorar sua qualidade até o final da cadeia produtiva.

A tecnologia do *big data*, segundo Qi e Tao (2018), está relacionada às técnicas de

organização, processamento e análise de uma grande quantidade e variedade de dados brutos, estruturados ou não, para direcionar e auxiliar as tomadas de decisões. Em concordância com Zhong *et al.* (2017), as tecnologias de informação englobam toda estrutura que promove essa conexão, estabelecendo o processamento e transferência de sinais, dados e informações.

A **computação em nuvem** está relacionada ao compartilhamento, alocação e obtenção dos dados através de redes e servidores. Dessa forma aumenta-se a confiabilidade das informações, auxiliando na tomada de decisão e eficiência dos processos.

Os demais pilares como robôs autônomos, simulações, integração de sistemas, cibersegurança, manufatura aditiva e realidade aumentada compõem os CPS.

Os **robôs autônomos** também fazem parte dessa estrutura, ou seja, é um dos alicerces da Indústria 4.0. Eles são capazes de aprender novas estratégias, executar tarefas de maneira totalmente autônoma, utilizando, aprendizagem de máquina, Internet das Coisas, *Big Data* e recursos que envolvem a inteligência artificial.

As **simulações** também são importantes no contexto da Indústria 4.0, pois permitem a modelagem e reconhecimento de um sistema através de dados de entrada e saída. Os algoritmos de treinamento são responsáveis por melhorar cada vez mais as respostas provenientes desse sistema, aprimorando as redes neurais responsáveis e envolvidas na modelagem.

A **integração de sistemas** (no sentido da conexão entre várias áreas de uma empresa para que estas trabalhem de forma conjunta e automatizada, por exemplo: produção, manutenção, controle de estoque, logística, etc.) está direcionada a organização, segregação de tarefas, definição de responsabilidades e funções claras para cada nível que a compõem. Trazendo ganho em tempo, diminuição de custos, aumento da agilidade dos processos de uma empresa ou negócio. A Integração de Sistemas é dividida em duas partes: integração vertical e integração horizontal. A integração vertical está relacionada à integração de sistemas, do ambiente fabril até o *ERP* (nível máximo), onde são controlados todos os níveis da indústria (sensores e atuadores, *CLPs*, *SCADA*, *MES* e *ERP*). A integração horizontal é mais direcionada ao processo de manufatura, análise de mercado, logística, distribuição e gerenciamento do ciclo de vida do produto (*PLM*).

A **Cibersegurança** visa a proteger os dados armazenados e as informações importantes para o processo, ou seja, está intrinsecamente ligada à confiabilidade e proteção dessas informações.

A **Impressão 3D** está relacionada à manufatura aditiva e é capaz de produzir um objeto real a partir de qualquer modelo virtual. Este objeto é modelado por meio de diferentes

tipos de matéria-prima como filamentos ou líquidos. Dentre os benefícios herdados dessa tecnologia estão a redução de custos, otimização de processos e aumento da qualidade dos serviços.

Para Mueller, Chen e Riedel (2017), os Sistemas Ciber-Físicos (do Inglês, *Cyber Physical System* – CPS) tem a finalidade de relacionar sistemas físicos a virtuais, por meio de uma rede local ou global, com maior autonomia e inteligência. Os CPS atuam como um meio de vincular o mundo físico, através de sensores, atuadores, dispositivos móveis, máquinas e outros, a um mundo virtual de forma a espelhar o comportamento do mundo real ao âmbito virtual em tempo real. Os CPS estão relacionados à virtualização dos sistemas reais, bem como os processos, através de uma emulação ou cópia digital inteligente (ZHONG *et al.*, 2017; XU, XU e LI, 2018).

Várias abordagens sobre as definições dos CPS já foram propostas na literatura científica. Por exemplo, para Broy (2010) e Lee (2008), os CPS são sistemas automatizados que permitem a conexão das operações da realidade física com infraestruturas de computação e comunicação. Para Jadzi (2014), um CPS consiste em uma unidade de controle, com um ou mais microcontroladores que controlam os sensores necessários para interagir com o mundo real e processar os dados obtidos. Esses sistemas embarcados também requerem uma interface de comunicação para trocar dados com outros sistemas embarcados ou uma nuvem. E para Hermann, Pentek e Otto (2016), os CPS compreendem máquinas inteligentes, sistemas de armazenamento e instalações de produção capazes de trocar informações de forma autônoma, desencadear ações e controlar uns aos outros de forma independente. Em contrapartida, já existem na literatura os sistemas opostos aos sistemas embarcados tradicionais, na qual são projetados como dispositivos autônomos. No entanto, o foco dos CPS está na rede de vários dispositivos (LEE, 2008).

Os CPS possuem uma tendência a ter serviços em todos os lugares, devido às conexões do mundo atual. Por meio disso, os sistemas embarcados fazem parte da vida cotidiana do ser humano tornando-se inseparáveis na vida moderna.

No sentido de fundamentar as opções de rastreabilidade adotada pela empresa de aplicação do desenvolvimento, são apresentadas características históricas, definições sob vários aspectos e aplicações e por fim os tipos de rastreabilidade.

## **2.4 Histórico da Rastreabilidade**

O conceito de rastreabilidade já é conhecido, há algum tempo, por inúmeras indústrias.

De acordo com Blancou (2001), a marcação de animais vivos, a identificação individual por meio de marcações corporais, é praticada há mais de 3.800 anos (Código de Hammurabi). Marcar com ferro em brasa, com ou sem registro escrito das características dos animais, foi empregado na maioria das civilizações antigas. Esta técnica de marcação foi usada principalmente em animais valiosos, em particular cavalos. A marca individual e permanente foi usada em outras espécies ao longo dos séculos seguintes.

Ao que tudo indica, uma das primeiras aparições do conceito foi na década de 60 quando Morrys K. Dyer escreve um artigo sobre o controle de qualidade de sistemas espaciais da NASA (MACHADO, 2000).

### **2.4.1 Conceito de rastreabilidade**

A rastreabilidade é uma das formas encontradas para garantir o cumprimento e a melhoria contínua de processo baseada nas exigências da NBR ISO 9001:2015. Por meio de requisito dessa norma, a rastreabilidade é uma exigência que deve ser atendida nas empresas que possuem o Sistema de Gestão da Qualidade implementado. Cada empresa em sua totalidade, por sua vez, adota o processo de rastreabilidade conforme as suas adequações. Diante dessas informações “A organização deve controlar a identificação única das saídas quando a rastreabilidade for um requisito, e deve reter a informação documentada necessária para possibilitar a rastreabilidade” (ABNT NBR ISO 9001:2015).

Rastreabilidade, conforme a norma NBR ISO 9000 (ABNT, 2015), é definida como habilidade de rastrear o histórico, aplicação ou localização de um objeto. Ao considerar produto ou serviço, a rastreabilidade pode se referir: à origem dos materiais e partes; ao histórico do processamento; distribuição e localização do produto ou serviço após a entrega.

Vários são os autores que associam a rastreabilidade como uma ferramenta do gerenciamento da qualidade (JURAN *et al.*, 1974; FEIGENBAUM, 1994; MOE, 1998). Geralmente, quando existe a referência ao desenvolvimento de um sistema de rastreabilidade, entende-se um sistema informatizado responsável pelo armazenamento e rastreamento das informações. Segundo Alter (1991), o sistema de informação é resultante da combinação de práticas de trabalho (métodos usados pelas pessoas e tecnologia para desempenhar o trabalho), informações, pessoas.

Gryna (1992) descreve rastreabilidade como “a capacidade de preservar a identidade do produto e suas origens”. A partir dessa linha de pensamento, a matéria-prima ao entrar no processo produtivo deverá estar identificada (objeto de estudo). Ainda para Juran (1994), a

rastreabilidade é “a possibilidade efetiva de estabelecer o conjunto de acontecimentos ao longo e das ações, utilização ou localização de um item ou atividade e itens ou atividades semelhantes através de informações devidamente registradas”.

A rastreabilidade é definida como “uma técnica importante e necessária na qualidade do produto que envolve a documentação da engenharia, da produção e do “histórico” da distribuição de produtos para permitir rastreabilidade do produto no campo, de tal forma que tendências na qualidade possam ser consideradas e ação corretiva rápida possa ser adotada em casos extremos, como o recolhimento do produto, com custo mínimo (FEIGENBAUM, 1994)”.

## **2.4.2 A rastreabilidade vista em diversas áreas**

A rastreabilidade é a capacidade de identificar a localização anterior ou atual de um item, bem como de saber a sua história (GS1, 2008). É, acima de tudo, a capacidade de identificar um produto de forma única (MOE, 1998).

As definições apresentadas por Moe (1998), pela ISO e pela GS1 são consensuais na literatura, referindo que a rastreabilidade é a capacidade de rastrear o histórico do produto, das suas peças e materiais em qualquer momento, desde que sai do fornecedor até ao processo de transformação/produção do produto e ao momento em que é entregue para ser comercializado. Permite saber a localização anterior e a atual do produto, quais as peças e materiais que foram usados e as condições em que foram utilizados.

### **2.4.2.1 A rastreabilidade e controle da Qualidade**

Segundo Cordeiro (2019), na relação entre rastreabilidade e o controle de qualidade, é perceptível que as informações de rota do processo produtivo têm influência nas atividades de controle e inspeção. O fácil, produtivo e rápido acesso às informações facilita nas atividades de gestão, pois as empresas conseguem visualizar melhor os processos e entender melhor o ciclo de produção.

De acordo com Mello *et al.* (2008), a rastreabilidade fornece informações sobre o ciclo de vida do produto, pois pode agregar um grande volume de informações sobre as especificações da peça, suas medidas e conformidade com as normas de qualidade e o lote de fabricação, entre outros, sendo que estas informações são colhidas e armazenadas no código durante o processo produtivo.

A rastreabilidade é a habilidade de traçar o caminho da história, aplicação, uso e localização de uma mercadoria individual ou de um conjunto de características de mercadorias, através da impressão de números de identificação (CHAPAVAL *et al.*, 2008), os quais são aplicados sobre itens individuais ou lotes, variam entre códigos, datas ou combinação disto.

Para Kloster (2003), a rastreabilidade representa segurança aos clientes, pois a identificação da peça pelo código de rastreabilidade é única e garante que a mesma passou por controles rigorosos antes de chegar à sua mão.

A rastreabilidade é um método de controle que pode proporcionar respostas ao consumidor referente à segurança dos produtos.

### **2.4.2.2 A rastreabilidade na Indústria**

Com a evolução da Indústria 4.0, as empresas se esforçam para fornecer produtos com maior qualidade e com número mínimo de defeitos para atender a demanda do mercado concorrido. Diante dessa busca pelo melhor produto, processo e concorrência a rastreabilidade torna possível acompanhar produtos através da cadeia de suprimentos até o produto final.

Os dados coletados no processo podem variar devido às informações que a empresa pretende controlar: a identificação do fornecedor, o local, a hora, a data e tempo de produção, o número de lote, o número de série, matérias-primas utilizadas, e são normalmente armazenados em diferentes locais e em diferentes formatos.

A identificação e o rastreamento da história, da localização, da distribuição e da aplicação de produtos fazem parte das responsabilidades da rastreabilidade. Um sistema de rastreabilidade deve registrar e seguir o caminho dos produtos que chegam do fornecedor, que são processados e distribuídos como produtos finais.

Machado (2000) afirma que rastreabilidade é o conjunto de práticas de separação física e troca de informações entre diferentes agentes de cada cadeia produtiva, responsáveis pela execução e cumprimento de uma meta específica, preservando os atributos e a identidade de produtos.

Um sistema de rastreabilidade deve conter a identificação do produto, as matérias-primas do produto, a maneira que o produto foi manipulado, produzido, transformado e apresentado e a movimentação, para processos internos e de controle da empresa (LEITE, 2008).

Para que seja possível cumprir os objetivos da rastreabilidade, os sistemas deverão apresentar as seguintes propriedades: identificação do produto, dados do produto rastreado; interligação entre a identificação do produto e respectivos dados.

O tipo e quantidade de informação depende do sistema de rastreabilidade a ser implementado. Os sistemas de rastreabilidade devem conter a identificação do produto/processo através de um elemento chave definido pelo sistema de rastreabilidade.

### 2.4.3 Classificação da rastreabilidade

Foram encontradas, nas literaturas diversas, classificações da Rastreabilidade conforme diversos autores.

Para Green & Hy (2003, p. 5, apud FZ AGROGESTÃO, 2013, p. 11), uma solução de rastreabilidade pode ser dividida em dois principais tipos:

**Rastreabilidade Logística:** possibilita encontrar a localização dos produtos em qualquer ponto da cadeia de fabricação e fornecimento, em caso de necessidade de retirada de determinado produto. Permite um acompanhamento quantitativo dos produtos para localizá-los e determinar sua origem e destino.

**Rastreabilidade do Produto:** possibilita encontrar a origem e as características do produto em todas as etapas da cadeia produtiva. Permite um acompanhamento qualitativo dos produtos, visando a encontrar causas de eventuais problemas, seja a montante ou a jusante.

O rastreamento é a capacidade de seguir o caminho a jusante de um produto ao longo da cadeia de suprimentos (DABBENE, 2014) e rastreabilidade refere-se ao acesso dos registros relacionados com o produto nas fases a montante da cadeia de suprimentos (BECHINI *et. al.*; 2008).

Porém, os autores Jansen-Vullers, Drop & Beulens descrevem a possibilidade de realizar a rastreabilidade em dois sentidos diferentes em relação ao processo da cadeia produtiva (JANSEN-VULLERS, 2003). São elas:

- **Rastreabilidade a jusante** (*forward traceability*): fornece informação sobre os produtos finais que consumiram uma determinada matéria-prima de interesse.
- **Rastreabilidade a montante** (*backward traceability*): mostra os lotes de matéria-prima que foram consumidos por operações para a produção de um produto em particular.

Os tipos de rastreabilidade propostos por Jansen-Vullers *et al.* (2003) acrescentam mais informações sobre o conceito de rastreabilidade, onde reforçam a sua utilidade para guardar o histórico dos produtos usados e, por outro lado, acrescentam que a rastreabilidade é

uma ferramenta para gerir informação de qualidade, com a proposta de otimizar o processo de produção, permitindo o controlo estatístico do processo (JANSEN-VULLERS, 2003).

Outros tipos de rastreabilidade podem ser encontrados na literatura como, por exemplo, rastreabilidade vertical e horizontal, rastreabilidade interna e externa, entre outras, mas os tipos mais referenciados são a rastreabilidade a montante e a jusante.

Segundo Toledo (2001), o sistema de rastreabilidade pode ser informatizado ou não e deve permitir rastrear informações de diferentes tipos (referente ao processo, produto, pessoal e ou serviço) a jusante e ou montante de um elo de cadeia ou de um departamento interno de uma empresa. A rastreabilidade possibilita ter um histórico do produto, sendo que a complexidade do conteúdo deste histórico dependerá do objetivo a que se pretende alcançar. Este objetivo pode ser influenciado pelas estratégias adotadas e pelo ambiente externo em que a empresa está inserida.

Existem dois tipos de rastreabilidade: a rastreabilidade descendente ou “rio abaixo” que consiste em encontrar o destino industrial ou comercial de um lote de produtos até o armazenamento no ponto de comercialização; e a rastreabilidade ascendente ou “rio acima” onde é possível fazer o levantamento de todos os estágios, começando de um lote de produto acabado até encontrar o histórico e a origem do lote (ROCHA & LOPES, 2002).

Segundo Ramalho, *et al.* (2020), a base dos sistemas de rastreabilidade é a identificação do produto. Nesse contexto, amplas gamas de tecnologias podem ser empregadas para garantir a rastreabilidade do produto.

Já Dickson, *et al.* (2002) divide o estudo da rastreabilidade em duas partes: rastreabilidade interna e externa.

**Rastreabilidade Interna:** são todas as informações sobre o produto acabado, insumo ou matéria-prima, quando os mesmos se localizam dentro das fronteiras físicas da empresa. Envolve o recebimento (de matéria-prima, controle de recebimento), o estoque (controle de estoque), a fabricação (controle de conformidade) e expedição.

**Rastreabilidade Externa:** diz respeito às informações sobre a matéria-prima e insumos que não estão dentro das fronteiras físicas da empresa, ou seja, *INPUT* (matéria-prima, fornecedor, produto, transportador) e *OUTPUT* (transportador, depósito, cliente, distribuidor).

De acordo com dados do guia GENCOD - “Traceability in the Supply Chain”, de 2000, da EAN Internacional France, uma organização internacional que estabelece padrões para definição de códigos de barra, há sete tipos diferentes de rastreabilidade (LEONELLI, 2007 apud DUARTE, 2011), conforme mostra a tabela a seguir.

Tabela 4 - Tipos de Rastreabilidade

Adaptado: LEONELLI, 2007 apud DUARTE, 2011

<b>7 tipos de Rastreabilidade</b>	
<b>1- Rastreabilidade <u>top-down</u></b>	Tem como objetivo estabelecer as relações causais ou de algum problema de qualidade. Isso se dá através de localizar, em qualquer ponto da cadeia, a origem e as características de um produto;
<b>2- Rastreabilidade <u>bottom-up</u></b>	Esse sistema objetiva a criação de um sistema de recall de produtos. Faz uso de um ou mais critérios de identificação, para que seja possível encontrar produtos, em qualquer ponto da cadeia produtiva;
<b>3- Rastreabilidade <u>upstream</u></b>	Através desse é possível localizar um evento ocorrido em um dentre os demais elos da cadeia produtiva a partir da descrição de procedimentos e ferramentas adotadas. Visando o estabelecimento de responsabilidades legais e físicas em torno do produto;
<b>4- Rastreabilidade <u>downstream</u></b>	Esse sistema consiste em localizar um evento ocorrido depois da transferência, a uma terceira parte, da propriedade física de produtos através da descrição dos procedimentos e ferramentas adotados;
<b>5- Rastreabilidade <u>interna</u></b>	Com esse é possível descrever o histórico das transformações e processamentos pelos quais o produto passou. Tal controle pode ser interno a uma empresa ou a toda cadeia coordenada;
<b>6- Rastreabilidade <u>de produto</u></b>	Descobrir as causas de falhas de qualidade é o objetivo deste sistema. Descobre-se através da descrição, de forma qualitativa, dos caminhos pelos quais o produto passou, assim como os procedimentos adotados em cada estágio da cadeia, além da identificação das ações tomadas em caso de inconformidade ao padrão adotado;
<b>7- Rastreabilidade <u>logística</u></b>	Neste não é necessário detalhar os procedimentos adotados, mas sim, identificar, sob o ponto de vista logístico, o caminho que o produto percorreu através da identificação das coordenadas. E assim, determinar destinos e origens para promover recalls ou retirada de produtos

A seguir, são relacionados alguns trabalhos na área acadêmica no Brasil sobre a Rastreabilidade:

- Grapes (2010) visou, como objetivo principal, elaborar uma arquitetura de comunicação de alto nível para um sistema de informação combinando com a tecnologia RFID para auxiliar no processo de rastreabilidade de frangos em todos os processos da cadeia produtiva.

- Neuponuceno (2009) propôs um projeto de um sistema capaz de identificar um veículo sem a necessidade de intervenções humanas, visualizando os veículos que trafegam em uma determinada via. Para a identificação dos veículos foi utilizada a tecnologia RFID, com leitores e etiquetas RFID, juntamente com a linguagem de programação JAVA e o banco de dados MySQL.
- Martins e Ribeiro (2017), através de um relato de experiência desenvolvido entre 2011 e 2014, realizaram a implantação do sistema de rastreabilidade automatizada para produtos para saúde no Centro de Material e Esterilização de um hospital particular de grande porte, especializado em cardiologia, localizado na cidade de São Paulo. Optou-se por rastrear caixa cirúrgica e não peça a peça, avaliando a possibilidade de autonomia do colaborador em trocar instrumentais quebrados ou com defeitos, sem a necessidade de gravação no mesmo e não interrompendo o fluxo de trabalho. O custo de investimento é alto, mas o sistema de rastreabilidade automatizada agrega qualidade e padronização aos processos realizados e permite uma gestão mais atuante.

#### **2.4.4 Código de barras**

Segundo Bento (2009), as tecnologias de identificação utilizadas pelo mercado não seguem um único padrão.

O código de barras surgiu através de diversos estudos de Bernard Silver e Norman Joseph Woodland. Dias (2008, p.3) cita:

Em outubro de 1949, surgiu o primeiro código de barras, formado por quatro linhas brancas sobre um fundo preto, depois convertido em círculos concêntricos para facilitar a leitura, a partir de qualquer ângulo. Quanto mais linhas se adicionassem, mais informação podia ser codificada. Assim, 1952 a primeira patente de um código de barras foi registrada por Bernard Silver e Norman Joseph Woodland. As tecnologias estão cada vez mais presentes dentro das empresas, seja ela de pequeno, médio ou grande porte. Elas buscam facilitar e agilizar os processos dentro de um seguimento ou setor, podendo interligar todos os setores da empresa bem como a organização aos seus fornecedores e clientes.

Em função do avanço tecnológico, a indústria como um todo vem se desenvolvendo com grande velocidade em busca de eficiência e melhor serviço, gerando agilidade e qualidade que devem estar presente em qualquer empresa, independentemente de seu

tamanho, e assim, o código de barras tornou os produtos facilmente identificáveis.

Indústrias como Buettner, Karsten, Mirabel, Teka e Tramontina iniciavam as primeiras codificações na origem. A Convenção Nacional da ABRAS, realizada em Recife, já discutia as questões de restrição à importação de equipamentos e o preço dos similares nacionais. Em sinergia com os movimentos do mercado, a ABAC promovia debates sobre a legislação fiscal e uso de equipamentos como os PDVs e, no início de outubro daquele ano, participou da instalação do Grupo de Trabalho do Ministério da Indústria e Comércio para Introdução do Código de Barras. O cronograma de atividades desse grupo previa um trabalho de divulgação junto aos setores do varejo, do atacado, da indústria e aos consumidores (LOPES, 2003, p. 12)

Em função de algo complexo, a organização e padronização do código de barras deveriam ser controladas por apenas uma Associação. Como a ABAC – Associação Brasileira de Automação Comercial, já tinha representatividade no âmbito da Automação, foi instituída como administradora do novo código.

No dia em que a ABAC completou seu primeiro aniversário, ou seja, em 8 de novembro de 1984, o presidente da República assinou decreto instituindo o Código Nacional de Produtos. Na mesma data, a portaria nº. 143, do Ministério da Indústria e Comércio, conferiu oficialmente à ABAC a missão de administrar o novo código em todo o Brasil (LOPES, 2003, p.12).

Com o passar dos anos, surgiram vários tipos de códigos de barras, criados para atender as necessidades de cada segmento. O código utilizado no Brasil é o EAN (European Article Number), que possui os primeiros três dígitos identificando o país (Figura 12).



Figura 12 - Como funciona o código de barras

Fonte: [códigodebarrasbrasil.com.br](http://códigodebarrasbrasil.com.br).

O código de barras pode ser utilizado para melhorar a qualidade da informação e a velocidade do envio dos dados. Sua utilização se dá ao longo de todo o processo de negócios (BULZONI e FEE, 1994) e até mesmo no envio para o cliente final.

Esta tecnologia é a mais conhecida e visível, muito por causa do seu uso na gestão de inventários e depósitos, em supermercados e outros, principalmente do setor varejista. A identificação dos produtos e componentes por código de barras gera uma maior possibilidade de controle, pois se pode registrar o histórico das operações em que os mesmos passam durante sua produção, facilitando assim a sua rastreabilidade.

A empresa do Objeto de estudo possui diversos requisitos quanto ao tipo e à qualidade da informação necessária na rastreabilidade e, por isso, foi definido o uso do Código de Barras para controle o Processo do tanque de Capacitores.

A identificação dos produtos e componentes por código de barras gera uma maior possibilidade de controle, pois se pode registrar o histórico das operações em que os mesmos passam durante sua produção, facilitando assim a sua rastreabilidade.

#### 2.4.5 Vantagens e desvantagens do uso do código de barras

As vantagens e desvantagens encontradas no trabalho foram descritas na Figura 13. A qualificação dos problemas existentes e inerentes dos métodos tradicionais bem como os resultados almejados e descritos anteriormente formam um forte arcabouço que justifica os esforços a serem despendidos na persecução da realização deste trabalho

Na literatura, para Mattos *et. al.* (2009), a rastreabilidade automatizada é um conceito que surgiu da necessidade de se saber o local onde determinado produto se encontra e quais matérias-primas foram utilizadas em sua produção, diante disso foi aplicado no objeto de estudo observando as vantagens e desvantagens encontradas.

Vantagens do Uso do Código de barras	Desvantagens do Uso do Código de barras
<b>Melhoria da eficiência:</b> o uso de códigos de barras permite que os processos sejam mais rápidos e precisos, o que pode levar a um aumento na produtividade e redução de erros	<b>Investimento inicial:</b> a implementação do sistema de códigos de barras pode exigir um investimento inicial significativo em hardware, software e treinamento.
<b>Redução de custos:</b> com uma maior eficiência, pode haver uma redução nos custos operacionais, como tempo gasto em retrabalho e diminuição do desperdício de materiais	<b>Dependência de equipamentos:</b> o uso de códigos de barras requer equipamentos especializados, como leitores de código de barras, e a falha desses equipamentos pode afetar a produtividade e a precisão do sistema
<b>Rastreabilidade:</b> os códigos de barras permitem a rastreabilidade dos produtos em todas as etapas do processo, o que ajuda a garantir a qualidade do produto e a identificar problemas com mais facilidade.	<b>Possíveis falhas na leitura:</b> em alguns casos, os códigos de barras podem ser danificados ou mal impressos, o que pode levar a falhas na leitura e erros no processo.
<b>Controle de estoque:</b> o uso de códigos de barras pode ajudar a manter um controle mais preciso do estoque, evitando excessos e faltas de estoque	<b>Falta de padronização:</b> existem diferentes tipos de códigos de barras, o que pode levar a problemas de compatibilidade entre sistemas.
<b>Integração com outros sistemas:</b> os códigos de barras podem ser facilmente integrados com outros sistemas, como sistemas de gestão de estoque e sistemas de vendas.	<b>Necessidade de treinamento:</b> o uso de códigos de barras exige treinamento adequado dos funcionários, o que pode ser um desafio em empresas com grandes equipes e alta rotatividade.

Figura 13 - Vantagens e desvantagens do uso do código de barras

## 2.4.6 RFID

Para efeito de comparação, esta seção descreverá sucintamente o RFID.

RFID (*Radio Frequency Identification*) é uma denominação genérica para as tecnologias que empregam o uso da rádio frequência para captura de dados em alta velocidade. É considerada uma tecnologia de identificação automática através de sinais de rádio, capturando e registrando dados remotamente através de um pequeno objeto fixado no produto ou 19 componente, chamada de tag RFID.

Essa tag é composta por um circuito integrado e uma antena para receber e transmitir o sinal. Essa tecnologia mostrar-se como uma solução ótima para processos de manufatura dos produtos e componentes, mesmo estes em movimento.

A tag adentra o campo da rádio frequência, procurando o sinal que energiza a mesma. Esta, por sua vez, envia o seu código para a leitora, que o captura, enviando em seguida para o computador que executa determinada ação.

RFID é uma tecnologia disruptiva, ou seja, uma tecnologia com facilidade de avançar mais rapidamente que as outras existentes de mercado, tendo a capacidade de modificar a forma como os processos são executados atualmente.

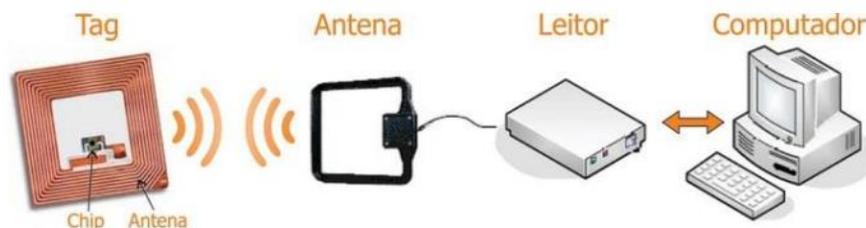


Figura 14 - Funcionamento da tecnologia RFID

Fonte: HERRTECH (2016).

### 2.4.6.1 Benefícios da Identificação por Rádio Frequência

RFID beneficia o usuário similarmente com outras tecnologias de identificação automática por reduzir a necessidade de efetuar coleta de dados por meios enfadonhos como “lápiz e papel”. Muitas vezes o volume de dados coletados é muito grande e o tempo necessário para processar a informação é tão longo que somente um método de coleta de dados automática é aplicável. Aquisição automática de dados valoriza a informação no sistema, fazendo a informação estar disponível mais rapidamente.

RFID é ideal para ambientes severos com poeira, óleo, umidade, etc. Cartões e

leitores de RFID não possuem partes que necessitam mover-se, portanto raramente necessitam de manutenção, e sua operação se estende por longos períodos de tempo.

RFID é uma forma de identificação automática com custo não elevado quando medida pelo tempo de uso. Diferentemente do código de barras, é difícil de ser copiado, e ideal para identificação confidencial de pessoas ou bens de propriedade.

A comunicação entre o leitor e o cartão é efetuada em milissegundos. O rendimento da comunicação depende do computador, mas a velocidade de uma boa leitura é de 30 a 100 milissegundos.

### **2.4.7 RFID X código de barras**

Para Lima (2019), o sistema de RFID não tem a pretensão de substituir o código de barras em todas as suas aplicações, mas complementá-lo dependendo da utilização. RFID deve ser vista como um método adicional de identificação, utilizado em aplicações no qual o código de barras e outras tecnologias de identificação não atendam a todas as necessidades. Pode ainda ser usada sozinha ou em conjunto com algum outro método de identificação.

Bezerra (2010) expõe que os benefícios primários do código de barras são a eliminação de erros de escrita e leitura de dados, coleta de dados de forma mais rápida e automática, redução de processamento de dados e maior segurança. Quanto às vantagens da RFID em relação às outras tecnologias de identificação e coleção de dados, tem-se: operação segura em ambiente severo (lugares úmidos, molhados, sujos, corrosivos, altas temperaturas, baixas temperaturas, vibração, choques), operação sem contato e sem necessidade campo visual e grande variedade de formatos e tamanhos. Na tabela a seguir tem-se um comparativo entre RFID e código de barras.

Neste comparativo, observa-se que a RFID oferece diversas vantagens quando comparada ao código de barras. Os tags de RFID são superiores na sua substituição, formatos, segurança, manutenção, entre outros, podendo até mesmo ser reutilizados. De acordo com essa comparação o Produto do Objeto de estudo RAST 4.0 poderá, no futuro, usar a tecnologia de RFID.

Em suma, na comparação com as etiquetas de leitura ótica (código de barras), os TAGs (RFID) apresentam as seguintes vantagens: (i) capacidade de escrita e leitura; (ii) podem ser reutilizáveis ou descartáveis; (iii) o desempenho não é afetado por resíduos; (iv) podem operar em diversos ambientes industriais; (v) resistentes a altas temperaturas; (vi) permitem a leitura através de materiais não condutivos; (vii) Pouca limitação quanto ao

posicionamento do TAG; (viii) Nenhuma parte móvel, garantia de alta confiabilidade e durabilidade.

*Tabela 5 – Comparação entre o código de barras e RFID*

Adaptado - Narciso (2008)

<b>Caraterísticas</b>	<b>Código de barras</b>	<b>RFID</b>
Resistência Mecânica	Baixa	Alta
Formatos	Etiquetas	Variados
Exige contato visual	Sim	Não
Vida útil	Baixa	Alta
Possibilidade de Escrita	Não	Sim
Leitura Simultânea	Não	Sim
Dados armazenados	Baixa	Alta
Funções Adicionais	Não	Sim
Segurança	Baixa	Alta
Custo Inicial	Baixo	Alto
Custo de Manutenção	Alto	Baixo
Reutilização	Não	Sim

A opção pelo código de barras, na aplicação do objeto do estudo, se deu em função de seu menor custo e maior simplicidade de implantação. No futuro, a empresa poderá migrar para RFID quando o sistema estiver amadurecido, justificando os investimentos financeiros.

## **3. MÉTODO DE PESQUISA**

De acordo com o que foi exposto anteriormente, o objetivo geral deste trabalho é propor uma sistemática automatizada de rastreabilidade de processos produtivos, visando a acompanhar os resultados do processo através de indicadores de desempenho. Na persecução desse objetivo, será proposto e desenvolvido um sistema de rastreabilidade, dentro do contexto das tecnologias da indústria 4.0, fazendo uso de etiquetas e leitores de códigos de barra (esses códigos de barra poderão ser substituídos no futuro por etiquetas de RFID).

O sistema desenvolvido será testado em ambiente real em um processo de produção de tanques de capacitores de potência em uma empresa de pequeno porte.

### **3.1 Objeto de estudo**

O ambiente da pesquisa é uma empresa brasileira que desenvolve e comercializa produtos de manutenção preditiva para motores com base na Técnica de Análise da Assinatura Elétrica (ESA), permitindo o monitoramento não-invasivo, remoto e sem interrupção do processo. A empresa atua também no setor elétrico, desenvolvendo projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (P&D&I) para empresas concessionárias de energia elétrica dentro do programa de P&D da ANEEL. Em 2006 seu sistema da qualidade foi certificado pela Fundação Vanzolini na Norma NBR - ISO-9001. Desde 2011, atua no segmento de Energia, fornecendo peças e serviços para baixa, média e alta tensão, atendendo o mercado com foco no cliente, prazo e qualidade. Nos últimos anos, se especializou na produção de tanques em aço inox para capacitores de potência, fornecendo para os principais fabricantes brasileiros.

A Empresa localiza-se na região Sul de Minas Gerais próxima às rodovias BR-459 e BR-381. A empresa se classifica como de pequeno porte em função de seu número de empregados e médio porte em função de seu faturamento.

#### **3.1.1 Diagnóstico da situação**

A Tabela 6 apresenta as informações comparativas do cenário atual e o cenário desejado após a implantação do sistema de rastreabilidade proposto.

Tabela 6 – Cenário Atual X Cenário Desejado

<b>Cenário atual</b>	<b>Cenário desejado</b>
Rastreabilidade realizada manualmente	Rastreabilidade realizada através de sistema automatizado
Baixo índice de confiabilidade	Alto índice de confiabilidade
Informações disponíveis em papel e em planilhas eletrônicas	Informação disponível no sistema
Dificuldade de acesso das informações por todos envolvidos no processo	Informação de fácil acesso a todos os envolvidos no processo através do sistema
Informações offline	Informações online
Dificuldade (demora) no processo de diagnósticos de falhas	Facilidade no diagnóstico de falhas
Ausência no controle de peça x funcionário	Controle de peça x funcionário
Tempo de fabricação estipulado	Tempo de fabricação real
Indicadores gerais	Indicadores específicos e com informações mais confiáveis

Fonte: Autor (2023)

### 3.1.2 Estrutura no ambiente de pesquisa

O processo de fabricação no ambiente de pesquisa é organizado e possui sistema de gestão da qualidade implantado para a fabricação de tanques de capacitores, como o apresentado na Figura 15.

Cada processo de fabricação demanda um conjunto de informações e orientações de processo, segundo ordens de serviço e instruções de trabalho em cada uma das tarefas. A produção é do tipo puxada e acompanha um layout por fluxo.

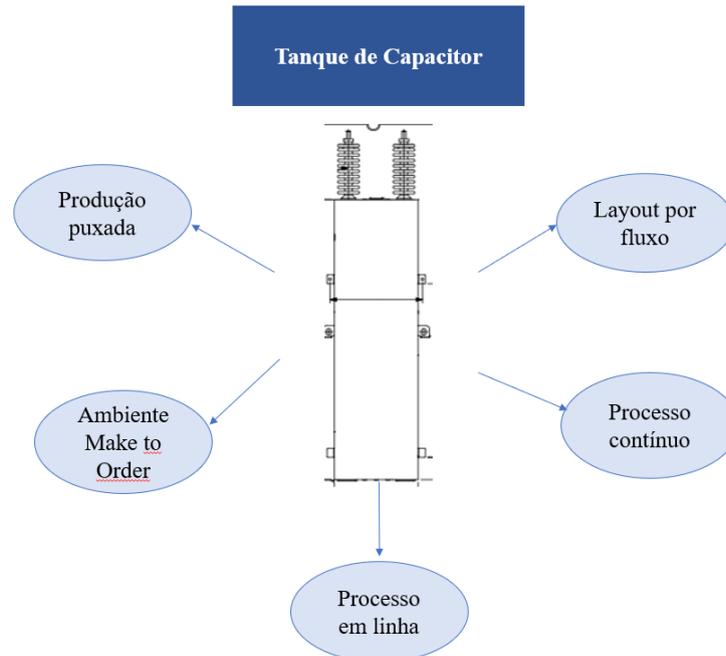


Figura 15 – Tanque de Capacitor

Fonte: Autor (2023)

### 3.2 Método de Pesquisa

Ao utilizar uma pesquisa qualitativa, o pesquisador envolve-se diretamente com a situação estudada na busca por dados que descrevam pessoas, lugares e processos e que permitam o entendimento da situação estudada pela visão que têm os sujeitos envolvidos (GODOY, 1995).

Neste trabalho foram utilizadas as abordagens qualitativas e quantitativas. Foram utilizadas as seguintes técnicas qualitativas:

- observação assistemática: consiste na coleta e registro de fatos da realidade;
- observação direta: o pesquisador não tem participação efetiva no fato;
- entrevista assistemática: o entrevistador tem liberdade para direcionar a entrevista.

No intuito de correlacionar as etapas da metodologia da pesquisa-ação com os desenvolvimentos realizados no presente trabalho, considerou-se como referência a Figura 16, pois demonstra a sequência de condução da Pesquisa-ação, na qual é possível verificar que cada

ciclo do processo produtivo é composto por cinco etapas: planejar, coletar dados, analisar e planejar ações, implementar ações, avaliar resultados e gerar relatório.

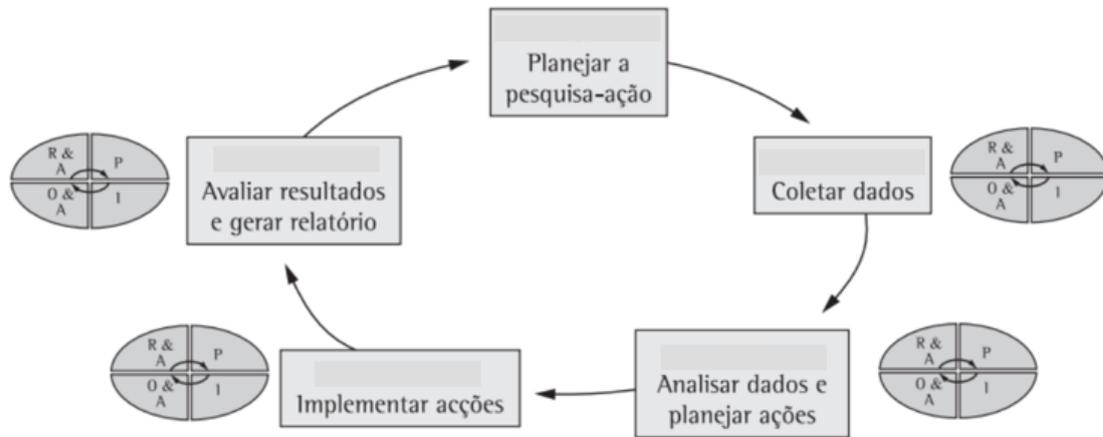


Figura 16 – Estruturação para a condução da Pesquisa-ação. Fonte: Adaptado de Westbrook (1995), Coughlan e Coughlan (2002) e Thiollent (2007)

A Figura 16 relaciona-se com a Figura 17, pois apresenta o modelo do PDCA

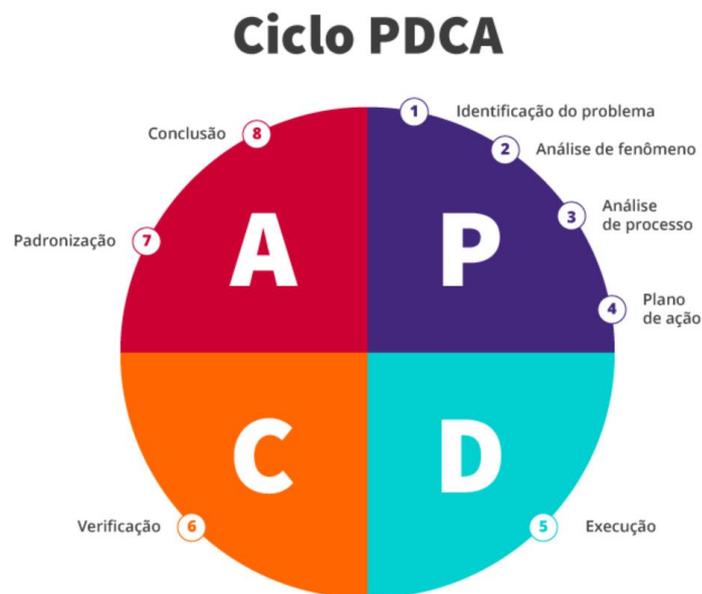


Figura 17 – Ciclo PDCA

Fonte: Falconi, (2008)

A seguir, a Figura 18 faz a relação entre as etapas da Figura 16 e Figura 17 gerando os dados do resumo das etapas usadas na Pesquisa.

A etapa do PDCA *PLAN (P)*, planejar, foi dividida em três subetapas na Pesquisa-ação: (i) Planejamento da Pesquisa, (ii) Coleta de Dados e (iii) Análise de dados e planejamento das ações.

A etapa seguinte, *DO (D)*, *executar*, ficou como Implementação da Ações na Pesquisa-ação.

A etapa *CHECK (C)*, *checar/verificar*, será para avaliar o resultado da etapa D.

A etapa *ACTION (A)*, *agir*, será para avaliar o resultado da etapa C e gerar relatório.

Etapas do PDCA	Pesquisa Ação	Atividade
P – <i>Plan</i> (planejar)	Planejar a Pesquisa-ação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Iniciar o Projeto da Pesquisa –ação</li> <li>• Definir o problema e reconhecer sua importância</li> <li>• Selecionar a Unidade de Analise</li> </ul>
	Coletar dados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investigar as características específicas do problema em uma visão ampla.</li> <li>• Registrar os dados</li> </ul>
	Analisar os dados e planejar ações	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tabular os dados</li> <li>• Descobrir as causas fundamentais do problema estudado;</li> <li>• Elaborar uma plano de ação para as causas fundamentais</li> </ul>
D – <i>Do</i> ( fazer)	Implementar ações	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar o Plano de ação com intuito de atuar nas ações para do projeto</li> </ul>
C – <i>Check</i> (checar)	Avaliar o resultado da etapa D	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaliar os resultados, verificando se o bloqueio foi efetivo</li> <li>• Especificações de outras documentações</li> </ul>
A – <i>Action</i> (ação)	Avaliar o resultado da etapa C e gerar e relatório	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaliar os resultados da pesquisa</li> <li>• Verificar as implicações teóricas e práticas</li> <li>• Redigir relatório final</li> </ul>

Figura 18 – Etapas do PDCA e da Pesquisa-ação

Fonte: Autor (2023)

### 3.3 Etapas da aplicação

As etapas do desenvolvimento do trabalho foram divididas de acordo com as etapas do ciclo PDCA, pois o método é utilizado para identificar problemas em processos e podem ser usados na melhoria de processos e na otimização de estratégias, e também podem ser ligadas com as etapas do método pesquisa-ação.

### 3.3.1 Pesquisa-ação

Segundo Engel (2000), a pesquisa-ação é um tipo de pesquisa onde há participação do investigador, unindo a pesquisa à parte prática, possibilitando uma melhor compreensão do objeto de estudo.

Primeiramente, cabe destacar que essa abordagem focaliza pesquisa na ação, ao invés de sobre a ação. A ideia central é que nesse tipo de trabalho busca-se adotar uma abordagem científica para estudar a resolução de fatores sociais ou organizacionais importantes em conjunto com os que avaliam esses fatores diretamente. Sua execução é feita por meio de um processo cíclico de quatro etapas gerais: planejamento, tomada da ação, avaliação da ação, condução aos planejamentos adicionais e assim por diante.

Esse trabalho utiliza a pesquisa-ação, como método de estudo onde se justifica por meio do objeto de estudo descrito nas seções anteriores por ter como principais características: a proposição de guias ou regras práticas para solucionar problemas (THIOLLENT, 2007); o pesquisador ser exposto ao ambiente de uma mudança organizacional em tempo real, onde participa de forma a colaborar e interagir com os colaboradores da organização em questão (COUGHLAN e COGHLAN, 2002); o uso da abordagem científica aplicada ao contexto da organização escolhida como objeto de estudo, (COGHLAN e BRANNICK, 2005); estudar e levar a solução de importantes problemas organizacionais junto àqueles que vivem tais problemas (

COUGHLAN e COGHLAN, 2002; COGHLAN e BRANNICK, 2005); desenvolver a teoria por meio de um processo cíclico onde, a cada etapa, o pesquisador deve aprender da experiência adquirida com a ação, investigar sobre o processo de mudança, ter senso crítico para conceituar o que deu certo e o que não deu e, identificar o que pode ser feito para melhorar (COGHLAN e BRANNICK, 2005; ZUBER-SKERRITT, 2018).

#### 3.3.1.1 Pesquisa-ação na indústria

Conforme Cauchick 2011, quando existe intervenção do pesquisador nos trabalhos realizados em cooperação com empresas, podem ser caracterizados como pesquisa-ação. Contudo essa é uma abordagem metodológica de pesquisa que tem como objetivo a realização de uma ação, onde leva a geração de conhecimento ou teoria de forma apropriada em relação às questões de pesquisa.

A forma com que o observador interage com o ambiente pesquisado para a detecção

dos problemas ou para a proposição de soluções, bem como a maneira como formula as hipóteses, adquire e processa os dados, tudo precisa estar norteado por métodos e técnicas específicos que se adequem à natureza do estudo e à realidade investigada.

A pesquisa-ação é um trabalho de natureza empírica, concebido e realizado em estreita associação com a resolução de um problema coletivo, no qual os pesquisadores e participantes representativos da situação estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo (THIOLLENT, 1997), objetivando endereçar esse problema de pesquisa em uma organização (EDEN; HUXHAM, 1996).

Cabe ainda considerar que os pesquisadores que trabalham nessa abordagem não lidam com hipóteses, mas com temas de pesquisa e desafios de cunho organizacional (CHECKLAND; HOLWELL, 1998).

## 4. DESENVOLVIMENTO

Essa seção descreve como as etapas do PDCA foram usadas de acordo com as etapas da Pesquisa-Ação.

### 4.1 – Planejar (P)

#### 4.1.1 Planejar a pesquisa-ação

A etapa do PDCA *PLAN (P)*, planejar na Pesquisa-ação, é a primeira etapa do método proposto na qual será definido o problema e a seleção da unidade de análise e responderá as seguintes questões: Como rastrear o produto fabricado, que foi testado X vezes no processo produtivo, e foi o mesmo encontrado com defeito no Cliente final? Como garantir a rastreabilidade desse produto? Como localizar as falhas no decorrer do processo?

Para melhor entendimento do conceito de planejar, a Figura 19 mostra os processos que compõem esta etapa.

Etapas do PDCA	Pesquisa Ação	Atividade
P – <i>Plan (planejar)</i>	Planejar a Pesquisa-ação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Iniciar o Projeto da Pesquisa –ação</li> <li>• Definir o problema e reconhecer sua importância</li> <li>• Selecionar a Unidade de Análise</li> </ul>
	Coletar dados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investigar as características específicas do problema em uma visão ampla.</li> <li>• Registrar os dados</li> </ul>
	Analisar os dados e planejar ações	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tabular os dados</li> <li>• Descobrir as causas fundamentais do problema estudado;</li> <li>• Elaborar um plano de ação para as causas fundamentais</li> </ul>

Figura 19 – PLAN (Planejar)

Fonte: Autor (2023)

Como já informado, este trabalho será realizado em uma das plantas dessa empresa brasileira que atua na fabricação de tanques de capacitores de potência, com solda robótica em aço inox 304 e aço inox 409, sob medida para indústria do setor de energia.

(i) Matéria-prima

O aço inox AISI 304, ou apenas 304, é a liga mais popular entre os inoxidáveis por

ser muito resistente à corrosão e possuir ductilidade e soldabilidade excelentes. Essas ligas pertencem à família dos aços austeníticos, os quais possuem alta resistência à corrosão, conformação e rachaduras mesmo em baixas temperaturas. São compostos basicamente por Fe - Cr - Ni (Ferro, Cromo e Níquel).

Os inoxidáveis austeníticos são utilizados em aplicações em temperatura ambiente, altas temperaturas ou em baixíssimas temperaturas (condições criogênicas), uma série de alternativas que dificilmente são conseguidas com outros materiais.

O AISI 304 tem como variação principal, o AISI 304L ("L" de Low = Baixo nível de Carbono = 0,03% Máx). O que difere as ligas com a sigla "L" é o menor teor de Carbono em suas composições.

Este nível menor de Carbono é indicado principalmente quando houver soldas. O menor teor de Carbono ajuda a prevenir a precipitação de Cromo (formando carbonetos de cromo na região da solda), assegurando um mínimo de 16% de Cromo e a possibilidade de formação do filme passivo que proporciona ao aço inox a resistência à corrosão. Por esse motivo, materiais com menor teor de Carbono em sua composição ("L"), são mais destacados no mercado.



Figura 20 – Placa de aço inoxidável 304

O aço AISI 409, conforme mostrado na Figura 20, é um aço inoxidável ferrítico destinado a aplicações que envolvem temperaturas mais elevadas, como o sistema de exaustão de automóveis, onde a recristalização durante a vida em serviço deve ser evitada.

Tabela 7 – Especificação das caixas de capacitores

Especificação	
Nota	409.409L,410.410S,420.420J2.430
Padrão	ASTM A240
Grossura	Laminados a frio: 0,2-3,0 mm Laminados a quente: 3,0-60 mm
Comprimento	2000mm-8000mm ou conforme solicitação dos clientes
Acabamento de superfície	NO1, No.4, 2B, BA, 6K, 8K, linha de cabelo com PVC

Propriedades mecânicas				
Nota	YS(Mpa) $\geq$	TS (Mpa) $\geq$	EI (%) $\geq$	Dureza (HV) $\leq$
409	175	360	20	150
410	200	440	20	145
410S	200	410	20	145
430	200	450	25	145

Fonte: Autor (2023)

## (ii) Os Tanques de Capacitores de Potência

As caixas ou tanques de capacitores de potência constituem a matéria-prima dos capacitores de potência responsáveis por acondicionar os elementos capacitivos e seus sistemas de isolamento, proteção e terminais.

Essas caixas são manufaturadas em aço inox, a partir de um rigoroso processo produtivo, que envolve as operações de corte, dobra, prensa, solda, lavagem, secagem e embalagem. As caixas possuem a forma de um prisma de base retangular com tampa soldada e fundo solto ou com o fundo soldado e a tampa solta. As tampas das caixas possuem uma, duas ou três buchas isolantes com pelo menos três tamanhos diferentes, dependendo do nível de isolamento que os capacitores forem especificados a operar. Um elemento de impregnação também é soldado à tampa para fins de desumidificação e impregnação de óleo no capacitor. Esse elemento é fabricado em aço inox ou em cobre. Três ou quatro suportes (cabides) para afixação em racks dedicados completam as partes constituintes das caixas ou tanques de capacitores de potência, conforme mostra a Figura 21.



Figura 21 – Tanque de Capacitor

Fonte: Autor (2023)

### (iii) Processo de Fabricação dos Tanques

Para implantação em campo do sistema proposto, foi escolhida uma empresa de pequeno porte que fabrica, dentre outros produtos, tanques de capacitores de potência.

A implementação da rastreabilidade no sistema de produção de tanques de capacitores deve ser vista dentro de um sistema de gestão da qualidade, não somente do produto em si, mas também dos diversos processos de produção, sob a responsabilidade de diferentes membros da empresa.

A partir da identificação, a rastreabilidade é a atividade de reconstrução das informações sobre procedência do material utilizado em determinado lote de produto. Além de controlar, acompanhar e preservar a ordem de fabricação e identificar o produto, em geral, a rastreabilidade é obrigatória para que se tenha o conhecimento da vida de um determinado produto. A partir do momento em que o produto (ou suas partes constituintes) é rastreado, é possível seguir o processo inverso e descobrir qual a matéria-prima ou componente utilizado na produção de um produto reclamado pelo cliente e quais os testes realizados no chão de fábrica e o responsável pela etapa da confecção e teste do produto.

A Figura 22 apresenta o Fluxograma do tanque de capacitor antes do Sistema RAST

4.0 com o objetivo de apresentar com maior clareza o desenvolvimento do produto ao longo do processo produtivo.

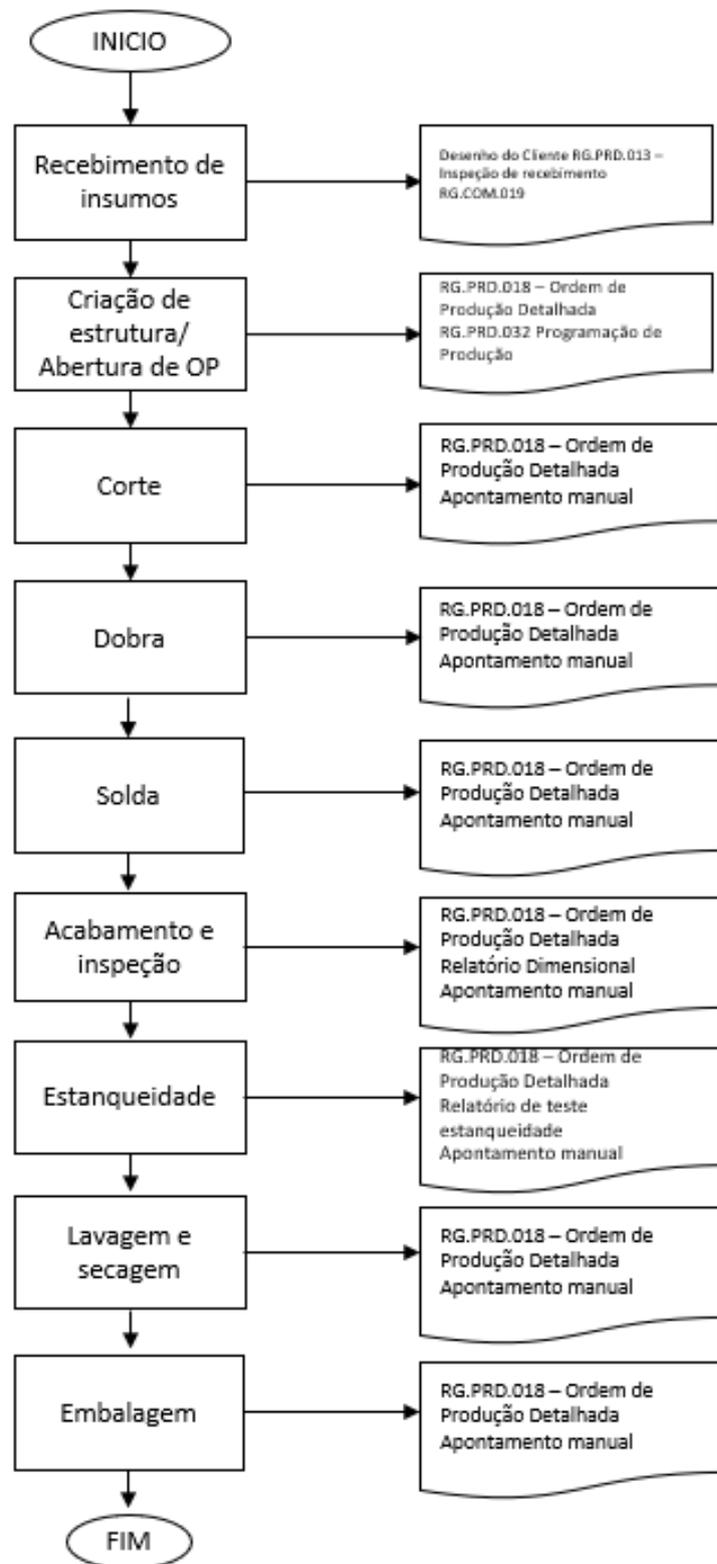


Figura 22 – Fluxograma do Tanque de Capacitor

Fonte: Autor (2023)

### **4.1.2 Coletar dados**

Com relação à técnica de coleta de dados, deve-se considerar os estudos de casos que foram analisados e verificaram como estava a percepção dos operadores da empresa e diretores, com relação às barreiras da leitura dos tanques de capacitores através do código de barras com as ferramentas da Indústria 4.0.

Na pesquisa de campo desenvolvida, utilizou-se como técnica de coleta de dados a entrevista semiestruturada. Bryman (1995) atesta que a utilização desse tipo de entrevista deve ser a técnica de coleta de dados preferida para as pesquisas do tipo qualitativo. Segundo o autor, o seu propósito é deixar a entrevista transcorrer de modo mais natural, permitindo ao entrevistado abordar as questões em discussão com mais tranquilidade, minimizando as restrições às suas considerações. Trata-se quase de uma conversa informal entre entrevistado e entrevistador na qual as questões relevantes para a pesquisa vão sendo desenvolvidas na medida em que a entrevista flui naturalmente. Verifica-se se, assim, que esta é uma técnica conveniente às entrevistas realizadas por este trabalho, nas quais espera-se que os entrevistados possam livremente se expressar sobre as barreiras que entendem existir para a adoção da rastreabilidade no processo de tanques de Capacitores através do uso de ferramentas da Indústria 4.0.

Embora na entrevista semiestruturada a conversa possa fluir naturalmente, Cauchick Miguel e Sousa (2012) recomendam que, nesse tipo de entrevista, o pesquisador elabore um roteiro contendo as questões que pretende abordar durante a conversa com o entrevistado. Portanto, esse roteiro é apenas um guia para o pesquisador não deixar de abordar aspectos pertinentes de sua pesquisa, uma vez que pesquisador tem a liberdade de desenvolver o tema com o entrevistado na direção que achar mais conveniente.

O processo se iniciou com a análise das variáveis do objeto de estudo, sendo elas a de qualidade de produto a fim de auxiliar na justificativa da escolha da unidade de análise e de infraestrutura e a instalação do processo produtivo para auxiliar no processo de rastreabilidade automatizado a ser implementado.

As variáveis de Qualidade de Produto são variáveis e atributos que podem ser controlados. São elas: Qualidade, Custo, Processo, Produtividade e Cliente.

#### **4.1.2.1 Coleta de dados das etapas do processo produtivo**

A Figura 23 apresenta uma breve descrição das atividades no processo produtivo dos tanques de capacitores.

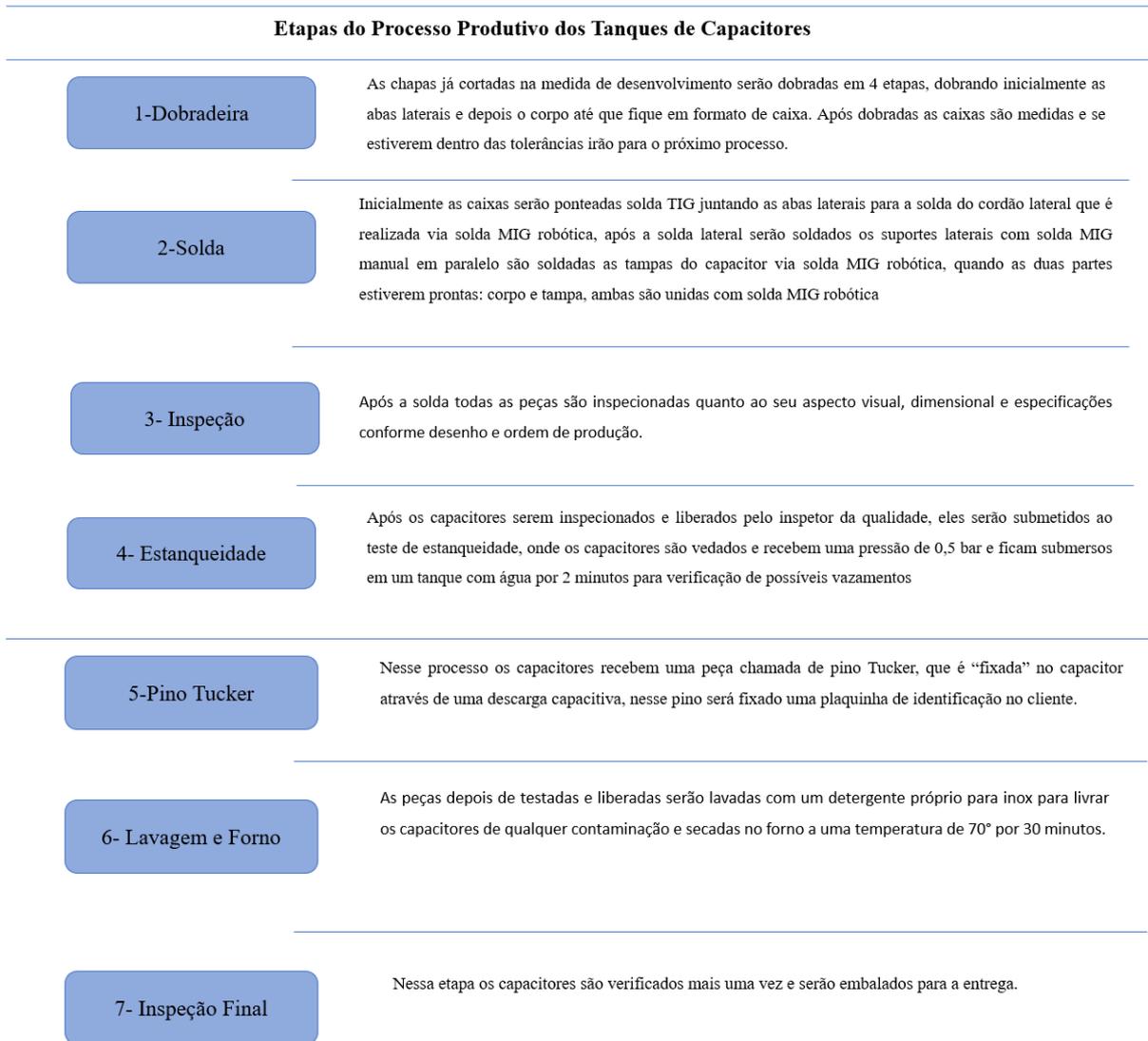


Figura 23 – Etapas do Processo Produtivo

Fonte: Autor (2023)

A Figura 24 apresenta os indicadores a serem medidos na empresa em questão antes da aplicação do Sistema de Rastreabilidade automático RAST 4.0

Indicadores	Meta 2020	Meta 2021	Frequência
1- Confiabilidade de estoque de matéria-prima	> 92%	> 92%	<ul style="list-style-type: none"> <li>Semestral</li> </ul> <i>(medido pela quantidade de itens fisicamente no estoque pelo nº de itens registrados no sistema de controle de estoque)</i>
2- Número de itens Não-conforme encontrados no Cliente	≤ 2%	≤ 2%	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mensal</li> </ul> <i>(medido em termos do nº de itens não-conformes pelo total de produtos entregues ao cliente)</i>
3- Número de peças retrabalhadas devido ao teste de estanqueidade	≤ 10%	≤ 10%	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anual</li> </ul> <i>(medido pelo nº de tanques retrabalhados em função dos testados na estanqueidade no período)</i>

Figura 24 – Indicadores de Desempenho antes do Sistema RAST 4.0

Fonte: Autor (2023)

A seguir são apresentadas as informações levantadas a partir da análise dos últimos dois anos do Sistema de Rastreabilidade dos tanques de capacitores da empresa.

Percebe-se que ao levantar os dados da confiabilidade de estoque de matéria-prima da Figura 25 e da Figura 26, em 3 meses do ano, a confiabilidade de estoque ficou abaixo da meta devido ao erro de retirada de itens do estoque. O trabalho, nesse momento, era realizado com entrada e saída de material manualmente pelo operador gerando no Sistema falha humana.

<b>Indicador:</b>	1 Confiabilidade de estoque de matéria-prima		
<b>Frequência da Análise</b>	Mensal		
<b>Meta 2021</b>	≥ 92% no ano		
<b>Informação</b>	RG.COM.011 - Confiabilidade de Estoque		
<b>2021</b>	<b>Confiabilidade de estoque de matéria-prima</b>		
	<b>FILIAL</b>		
	<b>Itens verificados</b>	<b>Itens corretos</b>	<b>Índice de Confiabilidade</b>
<b>Janeiro</b>	5	5	100,00%
<b>Fevereiro</b>	11	10	90,91%
<b>Março</b>	20	9	45,00%
<b>Abril</b>	5	5	100,00%
<b>Maio</b>	6	6	100,00%
<b>Junho</b>	5	4	80,00%
<b>Julho</b>	32	32	100,00%
<b>Agosto</b>	9	9	100,00%
<b>Setembro</b>	32	32	100,00%
<b>Outubro</b>	32	32	100,00%
<b>Novembro</b>	33	32	96,97%
<b>Dezembro</b>	33	33	100,00%

Figura 25 – Dados indicador confiabilidade de estoque 2021

Fonte: Autor (2023)

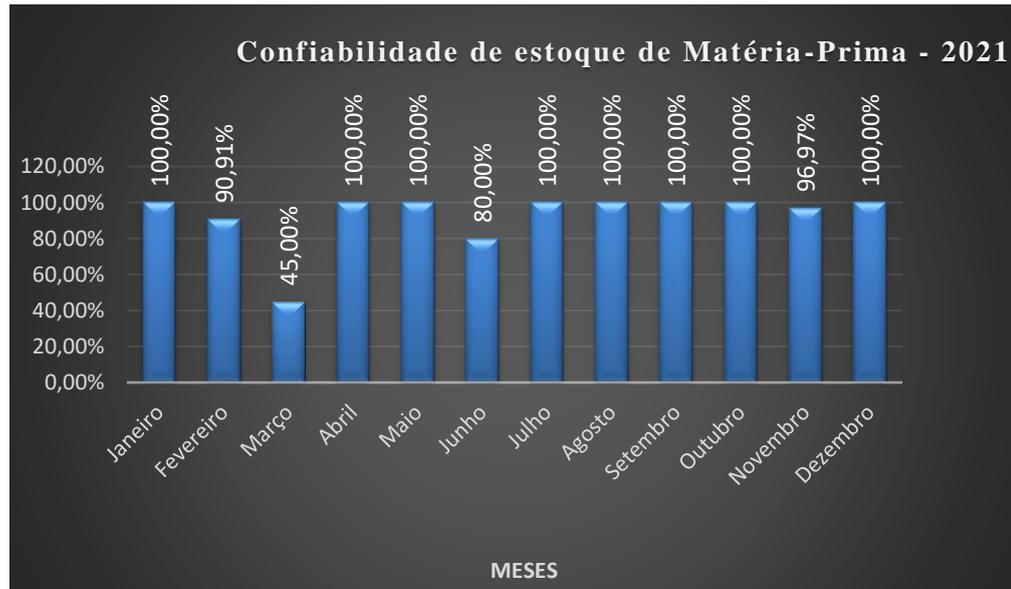


Figura 26 – Gráfico Indicador de Confiabilidade de Estoque 2021

Fonte: Autor (2023)

A Figura 27 e a Figura 28 apresentam o Indicador de número de itens não conforme encontrados no Cliente. A meta para o ano de 2021 era  $\leq 2\%$  por mês, ficando acima da meta no mês de junho de 2021.

<b>Indicador:</b>	2- N° de itens não-conforme encontradas no Cliente
<b>Frequência da Análise:</b>	Mensal
<b>Meta 2021:</b>	$\leq 2\%$ por mês
<b>Informação</b>	RG.GDQ.010 - Relatório de Não Conformidade / RG.VEN.010 - Controle de Produto Entregue ao Cliente

2021	Número de itens não conforme encontrados no Cliente		
	NC registradas		
	N° de caixas e tampas testados	No de itens NC mês	% NC
Janeiro	196	0	0,00%
Fevereiro	336	0	0,00%
Março	279	0	0,00%
Abril	196	0	0,00%
Maio	209	0	0,00%
Junho	400	15	3,75%
Julho	318	6	1,89%
Agosto	101	0	0,00%
Setembro	1	0	0,00%
Outubro	454	0	0,00%
Novembro	425	1	0,24%
Dezembro	88	1	1,14%

Figura 27 – Dados Indicador de Itens Não Conforme

Fonte: Autor (2023)

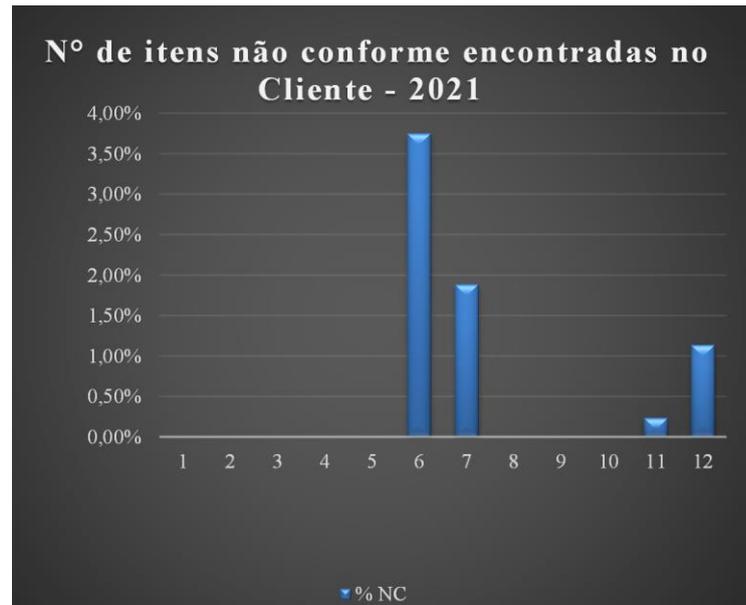


Figura 28 – Gráfico do Indicador de Itens não Conforme

Fonte: Autor (2023)

Indicador :	3 - Número de tanques retrabalhados devido ao teste de Estanqueidade		
Frequência da Análise	Mensal		
Meta 2021	≤ 10% do ano		
informação:	RG. PRD. 019 - Controle de Material Rejeitado - <u>RG.PRD.033 Controle de Reparos</u>		
	Nº de tanques de capacitores retrabalhados devido ao teste de Estanqueidade		
	Empresa		
2021	Nº de caixas e tampas testados	Nº de caixas e tampas de capacitores retrabalhados no processo da FILIAL	% Retrabalho
Janeiro	196	4	2,04%
Fevereiro	336	4	1,19%
Março	279	3	1,08%
Abril	196	2	1,02%
Maiο	209	1	0,48%
Junho	400	12	3,00%
Julho	318	1	0,31%
Agosto	101	5	4,95%
Setembro	1	0	0,00%
Outubro	454	8	1,76%
Novembro	425	11	2,59%
Dezembro	88	0	0,00%
<b>TOTAL</b>	<b>3003</b>	<b>51</b>	<b>2%</b>

Figura 29 – Número de Tanques retrabalhados devido ao teste de estanqueidade

Fonte: Autor (2023)

A meta definida para o percentual de retrabalho de tanques de capacitores foi definida pelos Gestores da Empresa em  $\leq 10\%$  ao ano, sendo acompanhada mensalmente pelo Sistema de Gestão da Qualidade da Empresa, conforme mostra a Figura 29. No ano de 2021 a taxa anual de vazamento foi de 2% conforme apresentado na Figura 30.

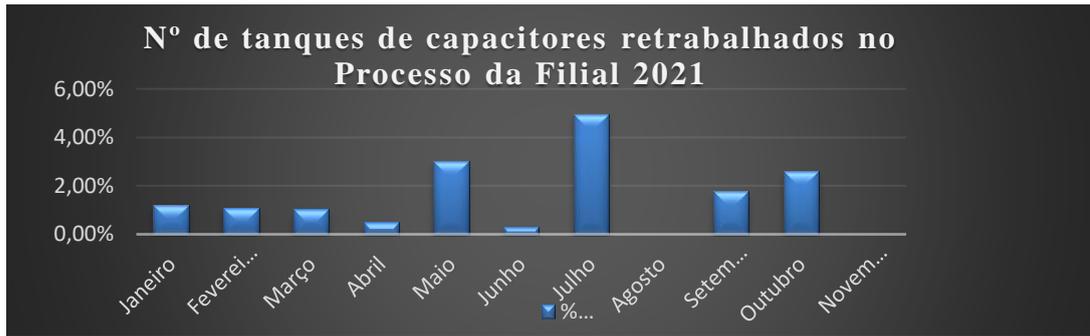


Figura 30 – Gráfico de Vazamento devido ao teste de Estanqueidade

Fonte: Autor (2023)

No levantamento de dados realizado através de uma entrevista informal, foram levantados pontos fortes de que o acompanhamento manual realizado junto a fábrica de capacitores é passível de falhas. O acompanhamento dessas falhas não acontece em tempo real, ou seja, as informações são acompanhadas posteriormente, pois as mesmas são registradas em papel e depois computadas na planilha eletrônica.

Alguns questionamentos, que não são respondidos na coleta de dados do processo atual, deverão ser respondidos após a implementação do Sistema de rastreabilidade RAST 4.0 proposto. Os questionamentos estão relacionados a seguir.

- 1- Se o mesmo objeto com falha internamente é o mesmo encontrado no Cliente?
- 2- Se o produto retrabalhado é o mesmo que apresentou falha no Cliente?
- 3- Se número de vazamentos internos verificados no teste de estanqueidade é o mesmo encontrado no teste do Cliente?

Diante das variáveis levantadas da qualidade do produto como: qualidade, custo, cliente e produtividade, após a aplicação do lote piloto, as variáveis serão medidas novamente e com a criação de novos indicadores que no Sistema atual não podem ser medidos, pois a confiabilidade é a probabilidade de o produto não apresentar falhas durante um determinado período de tempo, tendo em vista que esse controle será mais efetivo e confiável a partir da implantação do novo Sistema, podendo assim:

- Identificar os tanques com vazamento.
- Detectar os tanques com vazamento no teste de estanqueidade e confrontar com os tanques encontrados com vazamento no cliente.
- Identificar o colaborador responsável pela verificação da peça que sofreu não conformidade no Cliente.

- Identificar o colaborador que cortou e dobrou a peça que apresentou problema no Cliente.
- Identificar o Colaborador que soldou a peça que apresentou não conformidade no Cliente.
- Identificar o colaborador que realizou a inspeção final da peça que apresentou não conformidade no Cliente.
- Identificar o Colaborador que realizou o teste de estanqueidade e não identificou o problema internamente
- Identificar o Colaborador responsável por enviar os documentos da qualidade e não o fez.
- Identificar das peças que passam por reparo no processo interno e que também são reparadas no Cliente
- Calcular a produtividade, tempo de máquina parada, cálculo de perdas no processo e retrabalho de peças, tempo de retrabalho

Na coleta de dados foi levantado junto aos operadores através de *brainstorming* os possíveis riscos que podem ser encontrados na execução do lote piloto e da execução do Sistema assim que começar a ser executado. As informações levantadas poderão ser tratadas como ação preventiva para o Sistema RAST 4.0.

- Falta de energia – Servidor *off-line* – Falha de comunicação.
- Perda de dados – Definir *backup*.
- O risco de invasão sempre existe.
- Internet ideal seria cabeada pela potência do sinal, mais são muitos pontos e estão no meio da área produtiva. Precisa ser analisado.
- Internet *wi-fi* tem o risco de o sinal ser mais fraco e não conseguir enviar as informações no “tempo” certo.
- Instalar fibra ótica não perde potência no sinal.
- Em caso de servidor *off-line* as informações serão enviadas da mesma forma?
- Atualização servidor, produção para e registra no papel ou fica parada aguardando estabelecer?
- Quantas datadoras estarão disponíveis?
- Quantos *tonner* precisamos deixar no estoque?

### 4.1.3 Analisar os dados e planejar ações

Segundo Coughlan e Coughlan (2002), o aspecto crítico da análise de dados na pesquisa-ação é que ela é colaborativa, tanto o pesquisador quanto os membros da empresa fazem-na juntos. Esta abordagem se faz necessária e colabora para o crescimento da pesquisa e análise de dados por buscar os participantes que conhecem melhor a empresa e o objeto de estudo. A ação colaborativa contribui para a implantação e acompanhamento das ações. As ações levantadas foram listadas e deverão ser acompanhadas após o lote piloto, a fim de estabelecer relação com as falhas que poderão ser detectadas ao longo dos testes.

Conforme a Figura 31, o plano de ação necessita responder algumas questões-chave com base na ferramenta do 5W1H: O que fazer? Porque fazer? Quem irá fazer? Quando será realizado? Como será realizado? E o status se foi realizado a ação pretendida

	5 W					1 H	Status
	What?	Why?	Where?	When?	When?	How?	
Ação	O que ?	Por que?	Onde?	Quem ?	Quando?	Como?	Situação

Figura 31 – Informações do Plano de Ação

Fonte: Autor (2023)

## 4.2 – DO (Executar (D))

Na etapa de execução DO, o Plano de Ação será implementado com intuito de atuar nas ações para o Projeto RAST.4.0. A Figura 32 apresenta a etapa. Nesta etapa da pesquisa, os colaboradores da empresa junto com o pesquisador implementam o plano de ação. Segundo Thiollent (2007), a ação corresponde ao que precisa ser feito (ou transformado) para realizar a solução de um determinado problema, visando ainda refinar ou estender a teoria pesquisada, uma vez que os métodos qualitativos contribuem pouco na geração de novas teorias. Para Coughlan e Coughlan (2002), os planos devem ser implantados de forma colaborativa com os membros-chave da organização e assim foi realizado.

Etapas do PDCA	Pesquisa Ação	Atividade
D – Do (executar)	Implementar ações	• Implementar o Plano de ação com intuito de atuar nas ações para do projeto

Figura 32 – DO (executar)

Fonte: Autor (2023)

A Figura 33 apresenta o Plano de Ação executado para a desenvolvimento do hardware e software até a aplicação do 1º teste Piloto, onde suas saídas são as ações de melhoria para serem executadas e acompanhadas.

**Plano de Ação – D- DO (executar) Projeto RAST 4.0**

Ação	5 W					1 H	Status
	<u>What?</u>	<u>Why?</u>	<u>Where?</u>	<u>When?</u>	<u>When?</u>	<u>How?</u>	
	O que ?	Porque?	Onde?	Quem ?	Quando?	Como?	Situação
1	Início da Concepção do Software e Hardware	Garantir a automatização das informações	Fase da pesquisa  D - DO (executar)	Empresa Terceirizada	08/07/2021	1- Reunião para apresentar as informações necessárias para a Confecção do Software e Hardware 2- Dados para a confecção do Software do Processo Produtivo do Tanque de Capacitor 3 – Envio dos formulários com os dados a serem capturados pelo Sistema	20/02/2022
2	Implementação do Software	Rastrear as informações do Sistema	D - DO (executar)	Empresa Terceirizada	20/06/2022	1- Imputar as informações 2- Solicitar os primeiros ajustes 3- Comparar dados como que foi solicitado nas primeiras reuniões 4- Treinamentos para o manuseio do Software / Hardware	10/07/2022
3	Execução do Sistema (RAST 4.0)	Primeiros testes dos corpos de prova  Critérios de avaliação do Corpo de prova	Fase da pesquisa  D - DO (executar)	Operador / Pesquisador  Critérios de avaliação do Corpo de prova	07/07/2022	1- Corpo de prova – chapa de aço inox 409 tamanho (30x30 cm) 2- Código de barra na chapa 3- Lançamento no Sistema 4- Encontro das primeiras falhas	Todo o processo realizado com corpo de Prova 20/07/2022
4	Implantação do 1º Lote Piloto	Rodar o 1º lote piloto após o corpo de prova	Fase da pesquisa  D - DO (executar)	Operador / Pesquisador  Critérios de avaliação do 1º lote	21/07/2022	1- Abertura de Plano de ação para as resoluções das falhas encontradas no Processo	Realizado em 21/07/2022
5	Análise do Teste Piloto	Executar o Planejado na Pesquisa	Fase da pesquisa  Execução D (DO)	Operador Pesquisador	21/07/2022	1- Executar o Plano de Ação e realizar as melhorias do Lote Piloto 27/07/2022	27/07/2022
6	Resolução do problemas identificado no 1º lote Piloto	1º avaliação do Sistema	Execução D (DO)	Operador Pesquisador	28/09/2022	1- gerar o 2º Lote Piloto	28 e 29/09/2022 ( realização 2º lote)

7	2º lote Piloto	Executar o Planejado no Plano de Ação	Execução D (DO)	Operador / Pesquisador	28/09/2022 e 29/09/2022	1- Executou o processo de fabricação normal	30/09/2022 – Lote enviado para o Cliente
8	Retorno do Cliente após o envio do Lote	1ª avaliação do Sistema	Execução D (DO)	Operador / Pesquisador	22/11/2022	1- Acompanhamento do retorno do Cliente  1.1- Teste de <a href="#">Helio</a> 1.2- Heat <a href="#">soaking</a>  2- Avaliação do 2º lote	Até o momento sem reclamação do Cliente

Figura 33 – Plano de Ação

Fonte: Autor (2023)

## 4.2.1 O Sistema de Rastreabilidade – RAST4.0

A presente seção tem como objetivo apresentar o sistema de rastreabilidade apoiado em pilares da Indústria 4.0 concebido neste trabalho. Os pilares considerados no desenvolvimento são: IoT, *big data*, computação nas nuvens e sistemas ciberfísicos

O sistema, denominado como RAST4.0, possui uma parte de hardware e uma parte de software. Cada uma delas será descrita a seguir.

### 4.2.1.1 Hardware do RAST4.0

Esta seção apresenta os principais componentes do hardware do sistema de rastreabilidade desenvolvido – RAST4.0. São eles:

#### A) Raspberry Pi 3B:

Mini PC com as seguintes características e sua respectiva imagem, conforme mostra a Figura 34:

- Processador Broadcom BCM2837 64bit ARMv8 Cortex-A53 Quad-Core
- Clock 1.4 GHz
- Memória RAM: 1GB
- Adaptador Wifi 802.11n integrado
- Bluetooth 4.1 BLE integrado
- Suporte a Power-over-Ethernet (PoE)
- Conector de vídeo HDMI

- 4 portas USB 2.0
- Conector Ethernet
- Interface para câmera (CSI)
- Interface para display (DSI)
- Slot para cartão microSD
- Conector de áudio e vídeo
- GPIO de 40 pinos



Figura 34 –Placa mãe Raspberry Pi 3 B+14

Fonte: amazon.com.br, 2022. Acesso 19/09/2022

## B) Tela Touch 7 Polegadas Raspberry Hdmi Capacitiva Waveshare®

Tela touch screen com as seguintes características e sua respectiva imagem, conforme mostra a Figura 35:

- Tela IPS de 7 polegadas, resolução de hardware de 1024 x 600.
- Controle de toque capacitivo quando utilizado com Raspberry



Figura 35 – Tela Touch 7 Polegadas Raspberry Hdmi Capacitiva Waveshare®

Fonte: mercadolivres.com.br, 2022 - Acesso 19/09/2022

### C) Leitor de Código de Barras Laser Zebra Ls2208 Usb

Leitor de código de barras com as seguintes características e sua respectiva imagem, conforme mostra a Figura 36:

- Inclinação: 2 +/- 65 graus
- Interfaces suportadas: IBM, Teclado, RS-232, Synapse, USB, Caneta ótica
- Oscilação (zigzague): 3 +/- 60 graus
- Padrão de leitura: Linha única
- Profundidade do campo: Do contato a 43 cm em 100% dos símbolos U.P.C./EAN
- Resolução mínima: Refletividade com no mínimo 20% de diferença
- Rotação: 1 +/- 30 graus
- Tecnologia: Laser



Figura 36 – Leitor de Código de Barras Laser Zebra Ls2208 Usb

Fonte: mercadolivre.com.br,2022. Acesso:19/08/2022

A Figura 37 apresenta o hardware montado na configuração de totem para poder ser alocado ao lado de cada célula de produção de modo a permitir a rastreabilidade do processo.

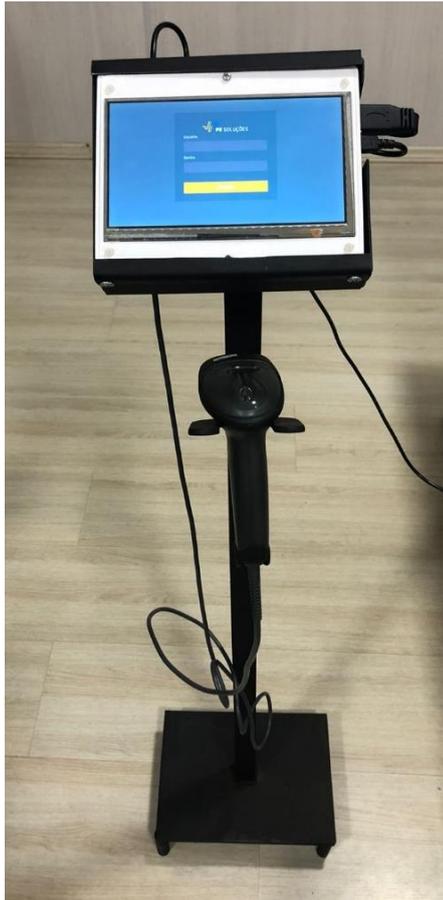


Figura 37 – Hardware do RAST4.0 em forma de totem

Fonte: Autor (2023)

#### **4.2.1.2 Software do RAST4.0**

A plataforma de controle de rastreamento e produção RAST4.0 é composta, basicamente, por dois subsistemas: o Sistema Principal e o Painel Remoto.

Ambos os sistemas foram baseados na plataforma ASP.NET da Microsoft, com sua interface basicamente operada na plataforma WEB. O banco de dados vinculado a plataforma é o SQL Server 2019.

A função da plataforma RAST4.0 é promover o controle da produção de caixas para capacitores, desde a chegada da matéria prima até a expedição do produto acabado, de modo que todas as etapas deste processo sejam referenciadas e armazenadas para o acompanhamento em tempo real da produção atual bem como o um rastreio futuro de cada caixa produzida.

Este software possui algumas especificidades em relação aos software de mercado. Ele é customizado para a o processo ao qual se destina, possuindo interface amigável e

prevendo a interação com os pilares da Indústria 4.0 a um custo relativamente baixo em relação às ferramentas de mercado que, normalmente, são direcionadas para empresas de grande porte e, portanto, inacessíveis a empresas menores.

### **1) Sistema Principal**

O Sistema Principal pode ser acessado por qualquer navegador Web, desde que esteja na mesma rede local que onde está instalado o seu servidor. Sua estrutura principal consiste em:

- a) Inspeção e controle da matéria-prima, incluindo:
  - i. Fornecedor
  - ii. Nota fiscal
  - iii. Quantidade
  - iv. Certificados
  - v. Inspeções visuais feitas pelo responsável do almoxarifado.

A cada material recebido com sua correspondente Nota Fiscal, é gerado um lote específico para que o rastreamento após a fabricação de cada caixa seja possível desde o fornecedor da respectiva matéria prima.

- b) Controle das Ordens de produção com foco na designação e separação dos componentes de fabricação de cada caixa em relação a um lote já inspecionado e cadastrado.
- c) Controle das etapas de produção de cada uma das caixas produzidas (através de códigos de barras impressos em cada uma das chapas após o seu corte). Este controle ocorre desde o corte das chapas até sua expedição, passando inclusive pelas etapas de inspeção e testes pós-produção. Todas estas inspeções e testes são armazenados para futuro histórico de produção.

### **2) Painel Remoto**

O Painel Remoto é um equipamento especialmente desenvolvido para ser instalado em cada um dos pontos de produção da caixa (corte, dobra, solda, etc.).

O equipamento possui uma tela *Touch Screen* de 7" e todo o processamento e comunicação é executado por um micro PC Raspberry 3B+.

Foi desenvolvida uma arquitetura do tipo Quioski, onde um navegador (Chrome) acessa uma URL específica direcionada ao mesmo servidor do Sistema Principal.

A função específica deste equipamento é arquivar no banco de dados a data, hora e usuário de cada uma das caixas que passaram por um posto de produção. Para isto, o operador, através de um leitor de código de barras, executa a leitura do número de série da caixa que está sendo manipulada, no final de seu respectivo processo.

O processo se inicia com a geração dos lotes a serem rastreados no sistema de rastreabilidade. Para tal as matérias-primas são previamente cadastradas de acordo com a nota fiscal do fornecedor e/ou cliente (para casos de venda de industrialização) que é a sistemática mais comum na empresa objeto do estudo.

A Figura 38 apresenta a tela de cadastro de matéria-prima e a Figura 39 apresenta um exemplo onde matérias-primas já estão cadastradas.

A imagem mostra uma interface web para o cadastro de matéria-prima. O título da tela é "Cadastrar Matéria-Prima". Há três campos de entrada: "Código" (um campo de texto vazio), "Unidade" (um menu suspenso com "PÇ" selecionado) e "Descrição" (um campo de texto vazio). Na parte inferior direita, há dois botões: "Cancelar" (cinza) e "Cadastrar" (verde).

Figura 38 – Cadastro de matéria-prima

Fonte: Autor (2023)

**Matéria-Prima** Almoxarifado / Matéria-Prima

Cadastro das matérias-primas necessárias no processo

Cadastro de Matérias-primas +

Mostrar 10 registros Localizar:

Código	↑↓ Descrição	↑↓ Unidade	↑↓ Ações
A7B82004311033	SUPORE LATERAL DP.BCA.SL.001 BENE	PÇ	
A7B82004318254	TAMPA ESTAMPADA 200MM ACO INOX 304	PÇ	
A7B82004319918	SUPORE LATERAL DP.BCA.UD.009 BENE	PÇ	
A7B82004319919	SUPORE LATERAL DP.BCA.UD.010 BENE	PÇ	
A7B82004329992	LUVA M30X1,5 INOX CA131081 IMPREGNACAO	PÇ	
A7B82004329993	BUJAO M30X1,5 CA131032	PÇ	
A7B82004330070	TAMPA ESTAMPADA 180mm ACO INOX 304	PÇ	

Figura 39 – Exemplo de matéria-prima cadastrada

Fonte: Autor (2023)

Os parceiros (clientes e fornecedores) também são cadastrados no sistema de rastreabilidade, conforme mostra a Figura 40. A análise de clientes é realizada com base no crescimento do ramo no mercado e sua liquidez. Para fornecedores, é analisada capacidade produtiva, preços, capacidade técnica e a qualidade dos itens a serem fornecidos.

**Cadastrar Parceiro**

---

Apelido 
 Categoria

Razão Social

---

Figura 40 – Cadastro de parceiros

Fonte: Autor (2023)

Todos os materiais recebidos são lançados no sistema de rastreabilidade, com os respectivos dados do recebimento, conforme mostrado na Figura 41.

### Cadastrar Nova Inspeção de Recebimento

---

Origem Cliente <span style="float: right;">▼</span>	Pedido de Compra <input style="width: 95%;" type="text"/>
Parceiro Siemens <span style="float: right;">▼</span>	
Data da NFe <input style="width: 95%;" type="text"/> <span style="float: right;">📅</span>	Número da NFe <input style="width: 95%;" type="text"/>
Data Recebimento <input style="width: 95%;" type="text"/> <span style="float: right;">📅</span>	Data Inspeção <input style="width: 95%;" type="text"/> <span style="float: right;">📅</span>

Cancelar
Cadastrar

Figura 41 – Cadastro de nova inspeção de recebimento

Fonte: Autor (2023)

Após o cadastro de entrada da nota fiscal, é necessário entrar com as informações dos itens e quantidades, com essas informações cadastradas é gerado o lote, conforme mostrado na Figura 42.

**Inspeção de Recebimento** Almoxarifado / Inspeções de Recebimento / Itens

Verificação das matérias-primas recebidas

---

**Inspeções de Recebimento 000001**

Parceiro Siemens Energy Brasil Ltda	NFe 194760	Data NFe 12/03/2020
Origem Cliente	Pedido de Compra	Data Recebimento 12/03/2020
		Data Inspeção 12/03/2020

---

Itens da Inspeções de Recebimento 📄

Mostrar 10 registros Localizar:

Código	Descrição	Quantidade	Certificado	Resultado	Lote	Ações
⊖A7882004329992	LUVA M30X1,5 INOX CA131081 IMPREGNACAO	580	⊖	Aprovado	1	
⊖A7882004330080	TAMPA ESTAMPADA 150mm ACO INOX 409	405	⊖	Aprovado	1	
⊖A7891503778507	BUCHA PORCELANA 06 SAIAS 68.060055 SANT	45	⊖	Aprovado	1	
⊖A7891503790834	TAMPA ESTAMPADA 105MM AÇO INOX 409	1	⊖	Aprovado	1	

Mostrando registros de 1 a 4 de um total de 4 registros ⏪ 1 ⏩

Figura 42 – Tela de registro de entrada dos materiais

Fonte: Autor (2023)

Os lotes são divididos por matérias-primas. A primeira entrada gera o lote 01 e quando houver uma nova entrada do mesmo material o seu lançamento irá gerar o lote 2 e assim sucessivamente. Essas informações estarão disponíveis no código de rastreio que será gerado para cada produto acabado, como: data do recebimento, quantidade, lote, nota fiscal, etc., conforme mostrado na Figura 43.

**Fornecedor**  
Siemens Energy Brasil Ltda

**Pedido Compra (\*\*)**

**Nota Fiscal**  
194760

**Data Emissão**  
12/03/2020

**Data Recebimento**  
12/03/2020

**Data Inpeção**  
12/03/2020

### Material

**Código**  
A7B82004329992

**Descrição**  
LUVA M30X1,5 INOX CA131081 IMPREGNACAO

**Quantidade**  
580

**Certificado**  
Não

**Responsável Compras**  
gabriela

### Check List

**A quantidade recebida do item está de acordo com o descrito na Nota Fiscal?** Sim

**A descrição/código do item confere com o descrito na Nota Fiscal?** Sim

**A embalagem do material é adequada?** Sim

**A integridade do material está preservada? (livre de ranhuras, mordeduras, oxidação, ondulação, quebra, etc)?** Sim

Figura 43 – Imagem do arquivo gerado de inpeção de recebimento.

Fonte: Autor (2023)

O estoque pode ser consultado a qualquer momento, conforme mostrado na Figura 44, e ele estará sempre atualizado de acordo com as entradas e saídas para as ordens de produção. Também é possível verificar se algum item está alocado para produção, conforme mostrado na Figura 45.

Estoque						Almoxarifado / Estoque
Estoque atual de matérias-primas						
Relação de Matérias-primas em Estoque						
Mostrar	10	registros				Localizar:
Código	↑	Descrição	↑	Qtde	↑	↓
A7B82004311033		SUPORTE LATERAL DP.BCA.SL.001 BENE		46		🔍
A7B82004319919		SUPORTE LATERAL DP.BCA.UD.010 BENE		269		🔍
A7B82004329992		LUVA M30X1,5 INOX CA131081 IMPREGNACAO		580		🔍
A7B82004329993		BUJAO M30X1,5 CA131032		24		🔍
A7B82004330070		TAMPA ESTAMPADA 180mm ACO INOX 304		153		🔍
A7B82004330071		TAMPA ESTAMPADA 150mm ACO INOX 305		448		🔍

Figura 44 – Tela principal estoque.

Fonte: Autor (2023)

**Lotes** Almoxarifado / Estoque / Lotes

Lotes da Materia-prima

Relação de de Lotes da Materia-prima selecionada

Código	Descrição	Lote	Total	Alocado	Disponível
A7B82004330082	TAMPA ESTAMPADA 200mm AÇO INOX 409	1	70	0	70

Figura 45 – Tela de consulta por item

Fonte: Autor (2023)

Na área de produção no sistema de rastreabilidade, o produto final solicitado pelo cliente via Pedido de compras é cadastrado com as informações do pedido e quantidade da lista técnica (lista de componentes do produto/ matéria-prima) conforme ilustrado pela Figura 46 e pela Figura 47.

Após o cadastro do produto final é criada a ordem de produção (Figura 48) com a quantidade de produtos solicitados pelo cliente. Nessa etapa, é gerado o código de rastreio. Ele sempre começará com F e os 5 números seguintes são sequenciais de acordo com os pedidos de compras; os 2 números na sequência são referentes ao mês do ano em que a OP foi gerada e os 3 últimos são sequenciais por produto. Ex.: Produto 1: F01066 12 001; Produto 50: F01066 12 050.

**Produto Final** Produção / Produto Final

Cadastro dos produtos finais

Cadastro de Produto Final 

Mostrar  registros Localizar:

Código	Descrição	Cliente	Número Desenho/Revisão	Ações
A7B82004476355	CAIXA INOX SFL0232 203X346X1020 14 CRT	Siemens	SFL0232 REV01 - 08/10/2021	   

Mostrando registros de 1 a 1 de um total de 1 registros   

Figura 46 – Tela de cadastro de produto final

Fonte: Autor (2023)

**Componentes do Produto Final** Produção / Produto Final / Componentes

Cadastro dos componentes do produto final

Cadastro de Componentes do A7B82004476355 

Mostrar  registros Localizar:

Código	↑↓ Descrição	↑↓ Quantidade	↑↓ Ações
A7B82004329993	BUJAO M30X1,5 CA131032	1	 
A7B82004330082	TAMPA ESTAMPADA 200mm AÇO INOX 409	1	 
A7B82004472175	Suporte Lateral DP.BCA.SL.020 BENE	2	 
A7B91501316982	CHAPA ACO INOX 409 LISA 1,5 1250 2240MM	0,5	 
A7B91502967601	BUCHA INOX 304 77X12-73,8X10 SOLDA CAPAC	2	 
A7B91503690667	BUCHA PORC TIPO HS-14SK - CRT	2	 

Figura 47 – Lista de componentes

Fonte: Autor (2023)

Ordens de Produção Cadastradas 

Mostrar  registros Localizar:

Número	↑↓ Status	↑↓ Cliente	↑↓ Data Abertura	↑↓ Produto	↑↓ Qtd	↑↓ Solicitação de Produto	↑↓ Análise Crítica
 F01066/00	<span style="background-color: green; color: white; padding: 2px;">Em Produção</span>	Siemens	13/12/2021	A7B82004476355	300	3089	1105

Pedido de Compra: 4501583922

Elaborado por: Gabriela

Aprovado por: Gabriela

Data Aprovação: 13/12/2021

Início de Produção: 13/12/2021

Finalização:

Nº Série Inicial: F01066 12 0001

Nº Série Final: F01066 12 0300

Ações:

Figura 48 – Tela de ordens de produção

Fonte: Autor (2023)

Após essa etapa, a produção é iniciada no ambiente fabril. Após a primeira etapa que é de corte da chapa aço inoxidável AISI 304 ou aço inoxidável AISI 409, o *blank* receberá seu código. Cada operação seguinte tem um leitor e o sistema é alimentado simultaneamente com o código do operador que executou a ação, a data e hora exata da execução. Essas informações podem ser acessadas em tempo real pela gestão.

Dentro da área operações o gestor poderá acessar por operação e consultar qualquer número de série para saber qual foi o operador que executou a ação e em que momento ele a realizou (Figura 49).

**Corte do Blank** Operações

Assinalar término efetivo da etapa

Entre com o número de série

Últimos 10 Cadastros

Mostrar  registros Localizar:

Data e Hora	Número de Série	Responsável
14/12/2021 15:13:41	F01066 12 0001	Gabriela

Mostrando registros de 1 a 1 de um total de 1 registros

Figura 49 – Tela de operação

Fonte: Autor (2023)

O produto, ao longo do processo, precisa passar por 3 tipos de inspeção: vazamento, reparos e dimensional. Todas essas informações, após lançadas no sistema, irão gerar um relatório que servirá para controle interno e para apresentação ao cliente. Em caso de alguma não conformidade apontada pelo cliente vai se conseguir rastrear se o mesmo produto apresentou falhas internas (Figura 50).

**Controle de Vazamentos** Inspeção / Controle de Vazamento

Teste de Estanqueidade

Entre com o número de série

2021 © PS Soluções | Versão 0.0.0.0 Desenvolvido por PA Soluções

Figura 50 – Tela de inspeções – Controle de Vazamentos

Fonte: Autor (2023)

Depois de todo processo finalizado é possível ver um resumo do produto conforme apresentada na Figura 51.

**Produto Acabado** Produtos Acabados / Detalhes

Todos os detalhes do produto acabado

Número de Série F01066 12 0001

<b>Produto</b> A7882004476355	<b>Descrição</b> CAIXA INOX SFL0232 203X346X1020 14 CRT	<b>Cliente</b> Siemens Energy Brasil Ltda	<b>Ordem de Produção</b> F1066/00
<b>Número do Desenho</b> SFL0232 REV01 - 08/10/2021	<b>Solicitação de Produto</b> 3089	<b>Análise Crítica</b> 1105	<b>Pedido de Compra</b> 4501583922
<b>Data de Abertura</b> 13/12/2021	<b>Data da Aprovação</b> 13/12/2021	<b>Início de Produção</b> 13/12/2021	<b>Término da Produção</b>

**Lista de Componentes**

Mostrar  registros Localizar:

Código	Descrição	Unidade	Qtde	Inspecção	Lote	
A7882004329993	BUJAO M30X1,5 CA131032	PC	1	000022	1	 
A7882004330082	TAMPA ESTAMPADA 200mm AÇO INOX 409	PC	1	000007	1	 
A7882004472175	Suporte Lateral DP.BCA.SL.020 BENE	PC	2	000021	1	 
A7891501316982	CHAPA ACO INOX 409 LISA 1,5 1250 2240MM	PC	0,5	000007	1	 
A7891502967601	BUCHA INOX 304 77X12-73,8X10 SOLDADA CAPAC	PC	2	000013	1	 
A7891503690667	BUCHA PORC TIPO HS-145K - CRT	PC	2	000021	1	 
A7891503777171	LUVA M30X1,5 INOX DP.BCA.LID.025	PC	1	000021	2	 

Figura 51 – Resumo do produto acabado

Fonte: Autor (2023)

### 4.2.1.3 Execução do Teste Piloto

Nesta seção são apresentados os resultados do sistema de rastreabilidade RAST4.0 visando a automatizar e manter a rastreabilidade do processo produtivo de tanques de capacitores com código de barras impresso na chapa de aço inoxidável AISI 304 e aço inoxidável AISI 409. O sistema utiliza-se de ferramentas da Indústria 4.0 como *IoT* e integração de sistemas.

Tal sistema pode usar a tecnologia emergente da Indústria 4.0, *IoT* para receber os dados coletados na entrada da matéria-prima por um funcionário treinado, validá-los, garantir sua confiabilidade e disponibilizá-los aos interessados. Isso faz com que diversos departamentos da empresa (sistema produtivo, manutenção, controle de estoque, dentre outros) possam ser integrados, melhorando o desempenho global da empresa.

#### 4.2.1.3.1 Teste 1º Lote Piloto – Projeto do Sistema de Rastreabilidade na Fábrica de Tanques de Capacitores de Potência

Esta seção apresenta os resultados preliminares da implantação do sistema de rastreabilidade na linha de produção de tanques de capacitores da empresa objeto do estudo.

## 1) Cronograma de Instalação:

**1º dia - 20/07/2022:** dificuldade na leitura do código impresso nas caixas de inox 409, várias tentativas de impressão dos códigos e várias tentativas de leitura, o mesmo código impresso em papel é lido com muita facilidade, conforme mostra a Figura 52. A Figura 44açaõ que pode ser tomada é a de avaliar a possibilidade de adquirir um leitor próprio para inox.

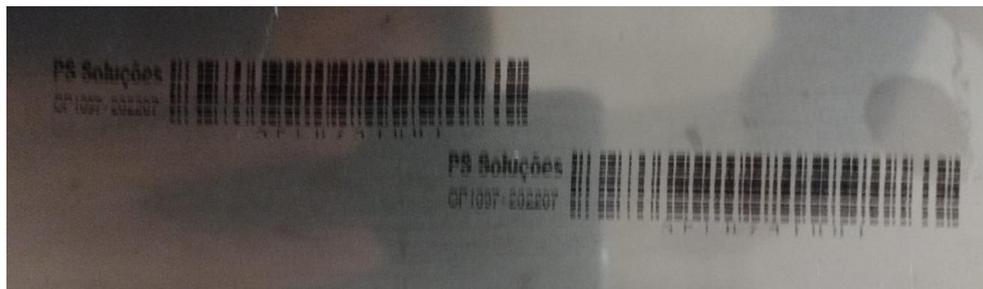
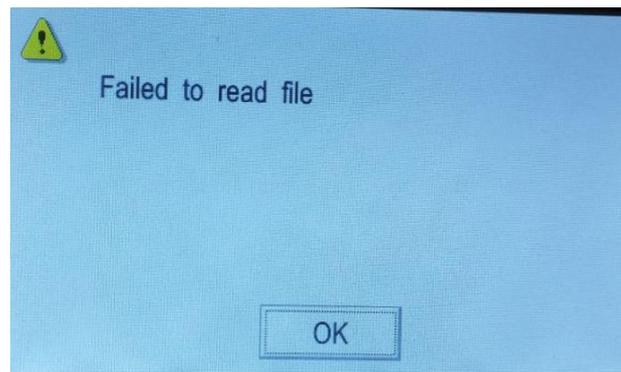


Figura 52 – Falha na leitura do código de barras

Fonte: Autor (2023)

**2º dia – 21/07/2022:** erro no sistema relacionado a problemas de conexão, conforme mostrado na Figura 53.

**Erro de Servidor no Aplicativo '/'.**

*Tempo limite expirado. O período de tempo limite foi atingido antes que fosse obtida uma conexão do pool. Isso pode ter ocorrido porque todas as conexões do pool estavam em uso e o tamanho máximo do pool foi atingido.*

Descrição: Ocorreu uma exceção sem tratamento durante a execução da atual solicitação da Web. Examine o rastreamento de pilha para obter mais informações sobre o erro e onde foi originado no código.  
 Detalhes da Exceção: System.InvalidOperationException: Tempo limite expirado. O período de tempo limite foi atingido antes que fosse obtida uma conexão do pool. Isso pode ter ocorrido porque todas as conexões do pool estavam em uso e o tamanho máximo do pool foi atingido.  
 Erro de Origem:

Exceção em tratamento foi gerada durante a execução da atual solicitação da Web. As informações relacionadas à origem e ao local da exceção podem ser identificadas usando-se o rastreamento de pilha de execução abaixo.

**Rastreamento de Pilha:**

```
[InvalidOperationException: Tempo limite expirado. O período de tempo limite foi atingido antes que fosse obtida uma conexão do pool. Isso pode ter ocorrido porque todas as conexões do pool estavam em uso e o tamanho máximo do pool foi atingido.]
System.Data.ProviderBase.DbConnectionFactory.TryGetConnection(DbConnection owningConnection, TaskCompletionSource`1 retry, DbConnectionOptions userOptions, DbConnectionInternal& connection) +440
System.Data.ProviderBase.DbConnectionInternal.TryOpenConnectionInternal(DbConnection outerConnection, DbConnectionFactory connectionFactory, TaskCompletionSource`1 retry, DbConnectionOptions userOptions) +315
System.Data.SqlClient.SqlConnection.TryOpenInner(TaskCompletionSource`1 retry) +128
System.Data.SqlClient.SqlConnection.TryOpen(TaskCompletionSource`1 retry) +265
System.Data.SqlClient.SqlConnection.Open() +133
Tracker.Pages.logon.ValidateUser(String userName, String password) in C:\Marcos\Web\tracker\Tracker\Tracker\pages\logon.aspx.cs:107
Tracker.Pages.logon.CmdLogin_ServerClick(Object sender, EventArgs e) in C:\Marcos\Web\tracker\Tracker\Tracker\pages\logon.aspx.cs:31
System.Web.UI.WebControls.Button.OnServerClick(EventArgs e) +139
System.Web.UI.Page.ProcessRequestMain(Boolean includeStagesBeforeAsyncPoint, Boolean includeStagesAfterAsyncPoint) +1890
```

Figura 53 – Erro de conexão

Fonte: Autor (2023)

Dificuldade na leitura dos códigos no inox, em papel a leitora identifica facilmente, conforme mostrado na Figura 54. Ações que podem ser tomadas:

- utilizar o celular para realizar a leitura, pois ele lê com facilidade no aço inoxidável AISI 304 ou AISI 409.
- adquirir um leitor próprio para inox ou testar outro mais robusto, aparentemente o erro acontece devido à superfície do inox ser reflexiva.

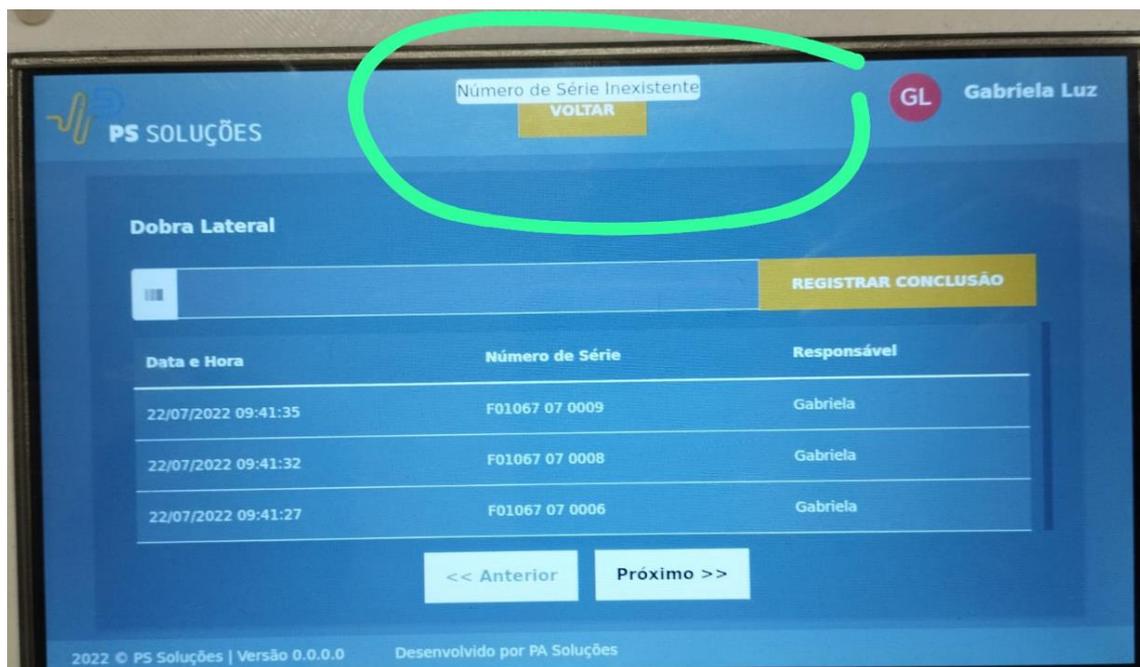


Figura 54 – Dificuldade de identificação

Fonte: Autor (2023)

**3º dia – 22/07/2022:** apontamentos de produção foram realizados **todos manualmente, pois o processo não foi automático, pois não leu o código de barras, falha no processo na entrada de dados** (processo demorado e com muitas etapas, pois precisa ser realizado caixa por caixa, sistema caiu algumas vezes, testes foram realizados no servidor que não é a causa da falha).

**4º dia - 23/07/2022:** teste de leitura de código de barras. Sistema não está reconhecendo o código mesmo ele sendo exatamente o mesmo. Identificou-se que o problema pode ser a datadora que acrescenta mais zeros no código e isso impede o sistema de fazer as leituras, conforme mostra a Figura 55. Foi solicitado mudança no sistema para que ele leia apenas os primeiros números (F1068 070) e não leia os números variáveis (os números sequências 001, 002 a assim por diante).

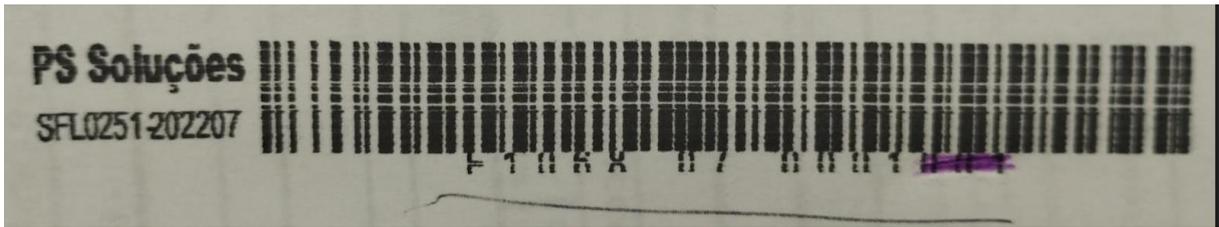


Figura 55 – Problema na identificação do código

Fonte: Autor (2023)

## 2) Mudanças no processo:

- Sistema de rastreabilidade como um todo desde a compra da MP até o pós-venda.
- Sistema precisa ser automatizado, utilizar rede e tecnologia para o fluxo de informações ser mais acessível e assertivo (hoje realizado por etiquetas e Excel).
- Rede (wifi), se for cabeada, deve-se considerar toda a infraestrutura.
- Disponibilização de totem para os aparelhos que irão ser utilizados na computação de dados (definir onde eles serão colocados) e disponibilizar energia elétrica.
- Se for o caso alterar o layout.
- Localização das MPs na fábrica (FIFO).
- Realizar treinamentos com as partes envolvidas para que cada um conheça a sua importância no processo e o quanto cada um contribui ou prejudica o processo.

## 3) Objetivo do lote piloto:

Vários experimentos foram realizados para determinar a viabilidade de implantação de aplicações práticas do sistema de rastreabilidade no ambiente da fábrica de Tanques de Capacitores, conforme mostra a Figura 56. O objetivo dos experimentos foi determinar as distâncias de reconhecimento do código de barras obtidas nesse primeiro momento, onde foram encontradas dificuldades de leitura da chapa de aço inox.

Dificuldades encontradas: o tipo de marcador, as condições de iluminação e o ângulo de leitura.

**Ordens de Produção**  
Cadastro de ordens de produção

Ordens de Produção Cadastradas

Mostrar 10 registros

Número	Status	Cliente	Data Abertura
F01067/00	Em Produção	Siemens	20/07/2022
F01068/00	Em Separação	Siemens	20/07/2022
F01069/00	Em Separação	Siemens	20/07/2022

Aprovado por: Gabriela  
Data Aprovação: 20/07/2022  
Início de Produção:  
Finalização:

Nº Série Inicial: F01068 07 0001  
Nº Série Final: F01068 07 0008

Ações: [Edit] [Delete] [Print]

\*Sem título - Bloco de Notas  
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda  
F1068 07 0001001

Figura 56 – Exemplo do sistema de rastreabilidade em operação durante o teste piloto

Fonte: Autor (2023)

Após analisar o estado da arte e os processos realizados na fábrica de Tanques de Capacitores (objeto desse estudo), os seguintes casos de uso foram selecionados como os mais promissores em termos de potenciais melhorias de eficiência alcançadas com a aplicação do novo Sistema de Rastreabilidade – RAST4.0:

#### 1- Informações da Fábrica:

Os operadores da fábrica geralmente contam com papel para identificar os ativos (por exemplo, chapas de aço inox aço inoxidável AISI 304 e AISI 409, buchas de porcelanas, paletes), ou seja, matéria-prima e insumos e determinar qual ação deve ser realizada de acordo com as ordens de produção. O aplicativo de rastreabilidade pode suprimir a grande maioria da papelada, fornecendo informações dinâmicas em tempo real sobre os ativos. Por exemplo, características e lote da matéria-prima a ser usada. Neste caso, a leitura do código de barras é usada como um identificador único associado ao número de identificação da chapa de aço no sistema de informação para que o aplicativo (Sistema) possa mostrar informações contextuais como material, tamanho e destino de cada lote.

## **2- Controle de Qualidade**

Após realizar quase todos os processos produtivos, é necessário realizar uma verificação de qualidade. O Sistema RAST 4.0 pode informar quais produtos foram testados mais de uma vez e quais as falhas foram detectadas no processo produtivo. Em um ambiente competitivo não se pode desprezar a importância da manutenção da qualidade e busca pelo aperfeiçoamento. Em função disso, os operadores, através da rotina das atividades padronizadas, estão acompanhando o processo produtivo, através do Ciclo PDCA nas melhorias do Controle de Qualidade (CQ).

## **3- Assistência no Processo de Fabricação dos Tanques de Capacitores**

O aplicativo pode informar quantas vezes a peça foi retrabalhada, se houve vazamento, qual o operador que fez o teste, peças contaminadas, se problemas de qualidade não foram detectados no decorrer do ambiente fabril. Tudo através da leitura do código de barras.

## **4- Gestão do Processo Produtivo**

Como a fábrica de tanques de capacitores possui 8 áreas, o sistema é muito útil a fim de fornecer aos operadores um sistema de orientação baseado na coleta de dados por código de barras que lhes permita localizar e armazenar itens mais rapidamente e diminuir os erros de coleta e armazenamento.

## **5- Colaboração Aumentada e Relatórios**

O Sistema de Rastreabilidade proposto pode aprimorar a colaboração online com o objetivo de fornecer orientação remota na resolução de incidentes ou esclarecer visualmente determinados eventos dos produtos no processo produtivo. Isso é possível graças à capacidade do aplicativo usado pelo operador a cada processo e permite a sobreposição de informações sobre as imagens reais vistas pelo operador em cada uma das suas atividades executadas. As informações podem ser acompanhadas no sistema pelos gestores da fábrica, podendo-se atuar no problema em tempo real.

#### **4.2.1.3.2 Resultados do Lote Piloto**

Ao abordar a utilização de indicadores de desempenho de fácil leitura e ampla utilização na gestão integrada, foi possível entender que uma boa prática associada ao controle e monitoramento dos processos é aquela que requer adoção de métricas bem definidas e bem absorvidas pelas equipes do processo produtivo.

Durante o período de análise, foram comparados os dados dos Indicadores da Qualidade antes da aplicação do Sistema. Assim, apesar de simples, os Indicadores da Qualidade carregam informações de extrema relevância para uma gestão mais integrada.

Durante o período do estudo, a empresa conseguiu manter os parâmetros atualizados e dentro das metas estabelecidas pela organização. O serviço assimilado em caráter extraordinário também foi realizado com sucesso e garantiu às áreas envolvidas o reconhecimento e agradecimento do grupo envolvido pelo êxito e esforço desempenhados pelos times responsáveis.

Verificou-se a efetividade do projeto de rastreabilidade e auxílio a tomada de decisão por parte dos gestores que se desenvolveu em nível global com o intuito de não somente monitorar a performance, mas de alocar serviços e soluções de maneira mais assertiva buscando melhores resultados para o grupo como um todo.

Durante o período de análise e na situação pontual do lote piloto foi relatado o engajamento dos times inseridos de maneira direta ou indireta nos resultados apresentados pelos Indicadores de Desempenho. Através da correta utilização dessas ferramentas foi possível monitorar o andamento dos serviços de maneira rápida, os pontos de bloqueio foram identificados de maneira objetiva.

A leitura das peças mostrou ferramentas de resposta rápida, como no acompanhamento de projetos em caráter extraordinário.

#### **4.2.1.3.3 – Implementação das Ações do Primeiro Teste Piloto**

Em

específico,

a

**Plano de Ação – Atividades do 1º LOTE PILOTO - DO D (fazer)**

		5 W				1 H	Status
	What?	Why?	Where?	When?	When?	How?	
Ação	O que ?	Por que?	Onde?	Quem ?	Quando?	Como?	Situação
1	Dificuldade na leitura do código impresso nas caixas de inox 409	O leitor não lê o código impresso, pois a superfície do inox é reflexiva	Lote Piloto (chapa de aço inox 409)	Operador	1º dia – Lote Piloto (20/07/2022)	1- Avaliar a possibilidade de adquirir um leitor próprio para inox.  2- Utilizar o celular para realizar a leitura, pois lê com facilidade no inox	Aquisição de um novo Leitor 21/09/2022
2	Erro no sistema relacionado a problemas de conexão.	Erro no servidor	Lote Piloto (chapa de aço inox 409)	Operador	2º dia – Lote Piloto (21/07/2022)	1- Entrar em contato com o Programador do Sistema  2- Fazer os ajustes no Software	Correção e ajustes no Sistema Rast 4.0 30/09/2022
3	Falha no processo na entrada de dados	O sistema não leu o código de barras	Lote Piloto (chapa de aço inox 409)	Operador	Lote Piloto 22/07/2022,	1- Entrar com os dados manualmente para dar seguimento a ação	Aquisição de um novo Leitor 21/09/2022
4	Problema na Identificação do código de barras	Falha de comunicação devido a quantidade de dígitos do Código de barras (Imagem dos erros)	Lote Piloto (chapa de aço inox 409)	Operador	Lote Piloto 23/07/2022	1- Solicitar a mudança no sistema para que leia apenas os primeiros números (F1068 070) e não leia os números variáveis ( os números sequências 001, 002 a assim por diante).	Novo lote Piloto 28/10/2022  Envio para o Cliente

Figura 57 mostra o Plano de Ação do 1º Lote Piloto:

Plano de Ação – Atividades do 1º LOTE PILOTO - DO D (fazer)

		5 W				1 H	Status
	What?	Why?	Where?	When?	When?	How?	
Ação	O que ?	Por que?	Onde?	Quem ?	Quando?	Como?	Situação
1	Dificuldade na leitura do código impresso nas caixas de inox 409	O leitor não lê o código impresso, pois a superfície do inox é reflexiva	Lote Piloto (chapa de aço inox 409)	Operador	1º dia – Lote Piloto (20/07/2022)	1- Avaliar a possibilidade de adquirir um leitor próprio para inox.  2- Utilizar o celular para realizar a leitura, pois lê com facilidade no inox	Aquisição de um novo Leitor 21/09/2022
2	Erro no sistema relacionado a problemas de conexão.	Erro no servidor	Lote Piloto (chapa de aço inox 409)	Operador	2º dia – Lote Piloto (21/07/2022)	1- Entrar em contato com o Programador do Sistema  2- Fazer os ajustes no Software	Correção e ajustes no Sistema Rast 4.0 30/09/2022
3	Falha no processo na entrada de dados	O sistema não leu o código de barras	Lote Piloto (chapa de aço inox 409)	Operador	Lote Piloto 22/07/2022,	1- Entrar com os dados manualmente para dar seguimento a ação	Aquisição de um novo Leitor 21/09/2022
4	Problema na Identificação do código de barras	Falha de comunicação devido a quantidade de dígitos do Código de barras (Imagem dos erros)	Lote Piloto (chapa de aço inox 409)	Operador	Lote Piloto 23/07/2022	1- Solicitar a mudança no sistema para que leia apenas os primeiros números (F1068 070) e não leia os números variáveis ( os números sequências 001, 002 a assim por diante).	Novo lote Piloto 28/10/2022  Envio para o Cliente

Figura 57 - Plano de ação - Ações 3 e 4 - 1º Lote Piloto

Fonte: Autor (2023)

A Figura 58 apresenta o Fluxograma do Tanque de Capacitor após a Implantação do Sistema RAST 4.0

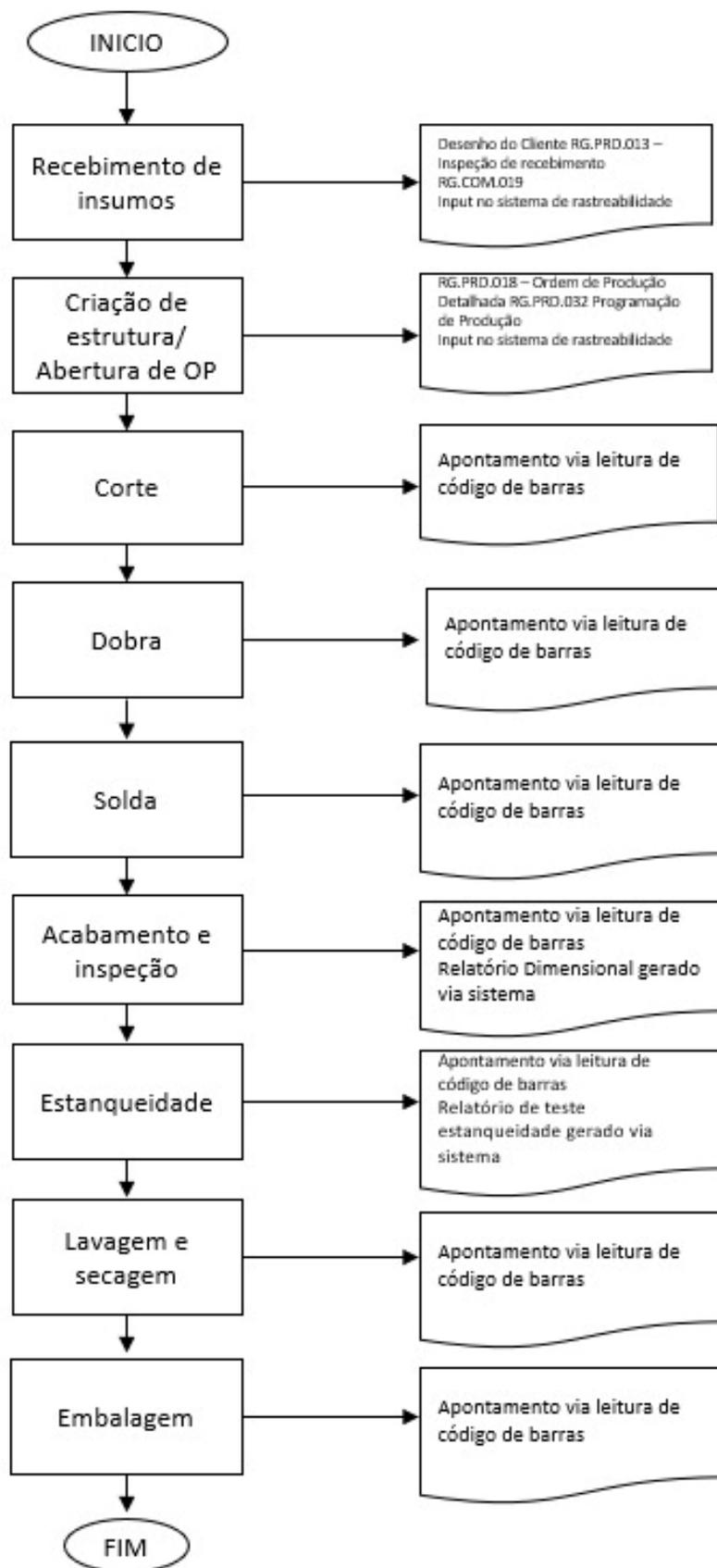


Figura 58 - Fluxograma do Tanque Capacitor após o RAST 4.0

Fonte: Autor (2023)

### 4.3 – Verificação (C)

Após a aplicação do 2º lote piloto e verificação dos dados, tem-se como objetivo:

- Diminuir a probabilidade da ocorrência de falhas nos produtos e no processo.
- Diminuir a probabilidade de falhas potenciais, ou seja, que ainda não tenham ocorrido, nos produtos em operação.
- Diminuir os riscos de erros e aumentar a qualidade no recebimento da Matéria-prima.

Para essa verificação, utiliza-se a processo de checagem conforme mostra a Figura 59.

Etapas do PDCA	Pesquisa Ação	Atividade
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; background-color: #4a7ebb; color: white; text-align: center;"> <b>C</b> – <i>Check (checar)</i> </div>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; background-color: #fff9c4; text-align: center;"> Avaliar o resultado da etapa D </div>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaliar os resultados, verificando se o bloqueio foi efetivo</li> <li>• Especificações de outras documentações</li> </ul>

Figura 59 – Checar (C)

Fonte: Autor (2023)

#### 4.3.1 – Avaliar o resultado e gerar o relatório

Esta etapa da Pesquisa visa avaliar os resultados do trabalho com os dados reais do sistema desenvolvido em operação na empresa objeto do estudo.

O resultado dos testes com o 2º lote se mostrou positivo. Ao contrário do primeiro teste, onde os códigos ficaram ilegíveis para o leitor de código de barras, os códigos foram interpretados adequadamente e conduziram a uma reação adequada do plano de ação. A correção foi realizada no leitor de código de barras, onde sua tecnologia é baseada em aquisição de imagens dos códigos e não na reflexão infravermelho. De maneira eficaz, todos os códigos simulados para leitura foram adequadamente interpretados e lidos pelo leitor.

A condição de teste para avaliação do resultado considerou um processo completo de fabricação do tanque de capacitor. Logo um código foi gerado pelo sistema junto da etapa de emissão de uma OP. O código entrou para a rastreabilidade do sistema e foi também impresso na chapa de aço inoxidável AISI 304 ou AISI 409 destinada às operações de fabricação do tanque.

Quando impresso no tanque, o código foi lido pelo leitor para início do processo de fabricação. Já nessa etapa o software do sistema iniciou o processamento das informações de tempo, material, profissional responsável pela operação, etc. como dados junto ao banco de

dados do software. Na sequência do processo, o código foi lido adequadamente no início de cada uma das etapas, sendo elas: dobra, solda, acabamento e inspeção, estanqueidade, lavagem e secagem e por fim embalagem.

Isso demonstra que, mesmo com as exigências técnicas a que foi submetido o código impresso, como riscos, aquecimento, água, temperatura, desengraxantes e água aquecida, nenhum desses prejudicou a capacidade de leitura do código pelo leitor e ainda o deixou apto para novas leituras no cliente.

Os dados coletados com o processo permitiram também a rastreabilidade do tanque de capacitor e o reconhecimento de cada estágio em que esse tanque passou, assim como os materiais utilizados, os profissionais que atuaram, tempos de processo e ainda se houve retrabalhos ou não.

A efetividade das ações cumpriu com os objetivos do planejamento e não demandou novas ações de correção, finalizando o processo PDCA. A Figura 60 e Figura 61 comprovam esta afirmação através do indicador de retrabalho no ano de 2022. Os dados apresentam uma melhora após a implantação do sistema proposto, com o indicador apresentando-se satisfatório, pois não foram retrabalhadas peças dos Clientes no ano de 2022.

 <b>INDICADORES DA QUALIDADE - 2022 - DQ.GDQ.001 Rev20 (20/01/2021)</b>			
<b>Indicador:</b>	5.1 Nº de tanques de capacitores que são retrabalhados pelos operadores de PS Soluções devido a reclamação do cliente		
<b>Frequência da Análise</b>	Mensal		
<b>Meta 2022</b>	≤ 2% por ano		
<b>Informação:</b>	RG.GDQ.010 - Relatório de Não Conformidade / NF de retorno de Material para conserto		
<b>2022</b>	Número de tanques de capacitores que são retrabalhados pelos operadores da PS Soluções devido a reclamação do cliente		
	PS SOLUÇÕES		
	<b>Nº de tanques capacitores entregues 000050 e 000079</b>	<b>Nº de tanques capacitores retrabalhados devido reclamação 000050 E 000079</b>	<b>% Retrabalhado 000050 E 000079</b>
Janeiro	203	0	0,00%
Fevereiro	353	0	0,00%
Março	797	0	0,00%
Abril	447	0	0,00%
Maio	568	0	0,00%
Junho	557	0	0,00%
Julho	240	0	0,00%
Agosto	383	0	0,00%
Setembro	219	0	0,00%
Outubro	160	0	0,00%
Novembro	37	0	0,00%
Dezembro	3	0	0,00%
<b>TOTAL</b>	<b>3967</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>
	Entregue	Retrabalhado	%
Total geral	3967	0	0%

Figura 60 – Indicador de retrabalho – Ano 2022

Fonte: Autor (2023)

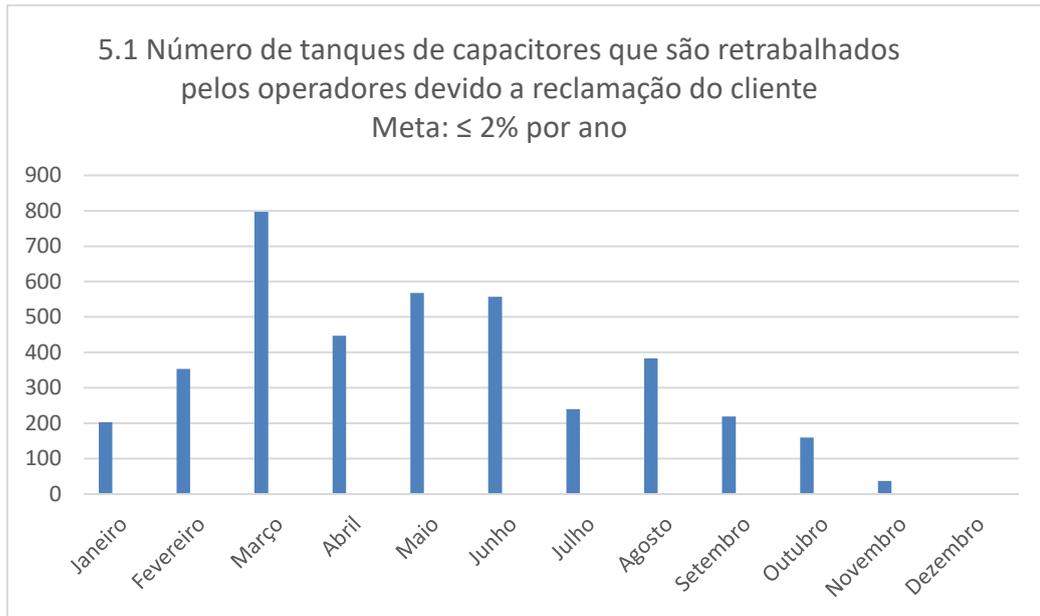


Figura 61 – Gráfico do Indicador de Retrabalho

Fonte: Autor (2023)

## 4.4 – Ação (A)

Esta etapa visa à conclusão do trabalho com os dados reais do sistema desenvolvido em operação na empresa objeto do estudo.

Etapas do PDCA	Pesquisa Ação	Atividade
A – <i>Action</i> (ação)	Avaliar o resultado da etapa C e gerar e relatório	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaliar os resultados da pesquisa</li> <li>• Verificar as implicações teóricas e práticas</li> <li>• Redigir relatório final</li> </ul>

Figura 62 – Ação (A)

Fonte: Autor (2023)

De acordo com os estudos e da aplicação dos lotes de tanques de capacitores verificou-se que os objetivos iniciais da Pesquisa foram atendidos.

As ações compreendidas no projeto percorreram passos importantes para evolução da rastreabilidade dos tanques de capacitores por meio da implantação de códigos de barras. A definição da etiquetagem baseada em impressora de tinta à base de álcool foi importante, pois uma superfície impenetrável e às vezes polida, geralmente, oferece dificuldade à secagem e aderência da tinta. Essa definição foi confirmada sob o ponto de vista visual, de leitura do código e resistência da tinta mesmo para os processos onde essa foi tocada por mãos humanas, apoiada contra superfícies metálicas e submetidas à temperatura e lavagem com desengraxante

e água aquecida.

Outra dificuldade enfrentada foi a de encontrar um leitor de código de barras capaz de ler códigos impressos em superfícies polidas, reflexivas e com código sem muita definição. A solução foi encontrada em leitores baseados em capturas de imagens. Essa alternativa foi considerada quando aplicativos de leitura em dispositivos móveis foram aplicados aos códigos de barras impressos em chapas de inox e apresentaram leituras adequadas. Nesse sentido buscou-se leitores também baseados em tecnologias de processamento de imagens na leitura de códigos de barra.

A aplicação da rastreabilidade com código de barras aos tanques de capacitores de aço inoxidável AISI 304 e AISI 409 se mostrou um instrumento de muito valor para coleta de informações do processo e garantia da rastreabilidade, mesmo fora do ambiente de produção. Alguns problemas, como a perda da identificação do tanque no cliente, traziam dificuldades na detecção se era uma peça realmente produzida pela empresa objeto do estudo ou concorrente, dificuldade para tratamento de causas raiz, dificuldade para propor melhorias capazes de solucionar de forma eficaz o problema, dentre outras dificuldades.

A sistematização da produção e acompanhamento de dados como tempo, profissionais envolvidos, materiais, tipo de processo e outros, estão alimentando um banco de dados, cujas ferramentas de processamento de *Big Data* serão implementadas como trabalho futuro e apoiarão as decisões e estratégias para melhoria de processos, tempos, qualidade e outras oportunidades.

Uma estratégia alinhada à melhoria da rastreabilidade será a adoção de etiquetas RFID no crachá do operador e também no próprio tanque, substituindo o código de barras.

O processo implantado tem sido visto como um importante passo para a empresa, que se introduz no ritmo da revolução industrial 4.0, uma vez que também essa é geradora dessa tecnologia em suas outras linhas de ação e caminha sempre de forma muito responsável com a garantia de sua qualidade, como política.

A pesquisa possibilitou identificar melhor as necessidades dos clientes que, dentre outras exigências, estão também exigindo rastreabilidade de seus fornecedores, alinhado ao principal objetivo deste trabalho que é apresentar a aplicabilidade de uma solução de rastreabilidade na cadeia produtiva, ou seja, de registrar quando e por onde determinado produto passou durante o seu processo de fabricação; avaliar internamente a qualidade operacional e método; registrar ensaios e testes.

Com o intuito de sintetizar os resultados alcançados, junto ao objeto de estudo, relacionados objetivos traçados no início do trabalho e as tecnologias da indústria 4.0

empregadas, criou-se um resumo visual apresentado pela Figura 63.

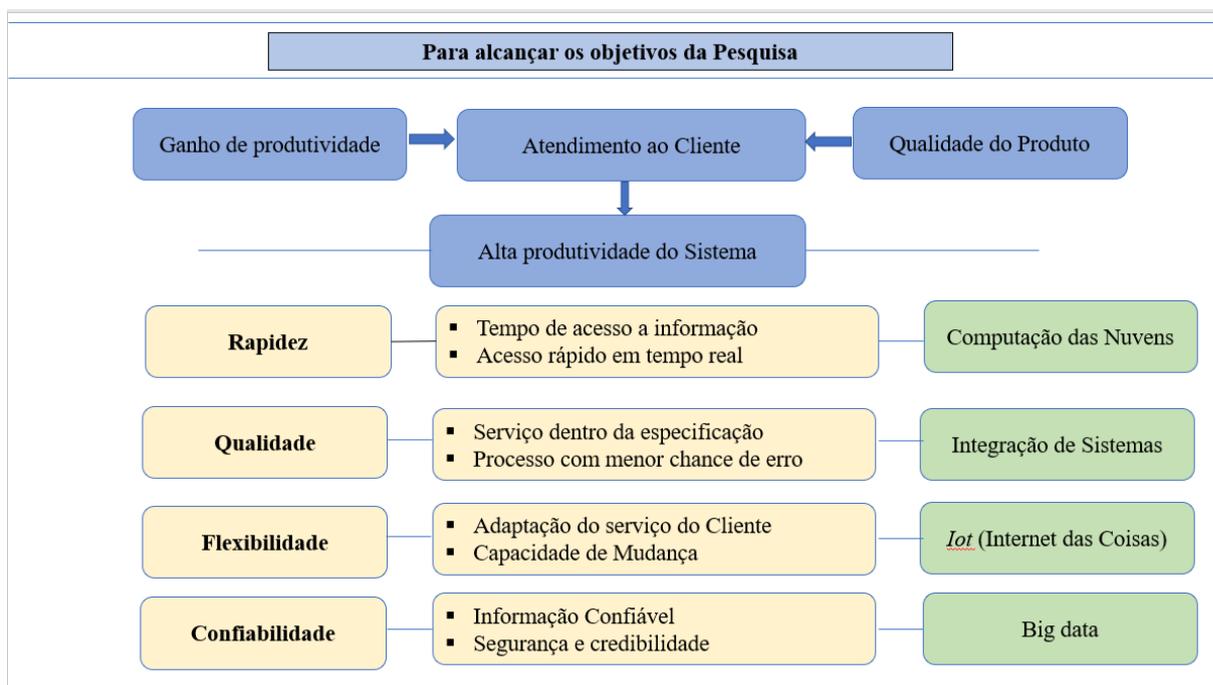


Figura 63 – Objetivos alcançados X objetivos traçados X Pilares da Indústria 4.0 empregados

Fonte: Autor 2023

Os próximos passos para utilização do sistema de rastreabilidade RAST4.0 envolvem a adoção da continuidade da rastreabilidade no cliente e a substituição do código de barras por tags de RFID.

## 5. CONCLUSÕES

O trabalho propôs um sistema de rastreabilidade utilizando os pilares da indústria 4.0 como IOT e integração de sistemas para processos produtivos de empresas de pequeno e médio portes.

Na persecução deste objetivo foi desenvolvido um sistema baseado em hardware e software denominado de Rast4.0. Este sistema está sendo implantado em uma empresa brasileira de pequeno porte de base tecnológica na linha de produção de capacitores de potência.

Durante o processo produtivo, a rastreabilidade permite monitorar o andamento da produção através da leitura do código de barras em vários pontos da linha de produção e também ao final do processo, fornecendo um relatório completo da realização dos produtos de acordo com a Ordem de Produção.

Os resultados obtidos desse estudo de caso, através desse modelo de rastreabilidade de processo, possibilitaram maior controle sobre o processo e suas decisões para atuar na melhoria contínua e no controle dos modos de falha como as não-conformidades internas, externas e a atuação na resolução mais rápida e mais assertivas das não-conformidades devido ao controle de processo em tempo real, podendo assim contribuir para redução de custos, retrabalhos e melhores ações a serem tomadas devido aos controles de processo.

As principais contribuições científicas e tecnológicas da presente proposta são:

1. Introdução dos conceitos da Indústria 4.0 na rastreabilidade de processos produtivos, visando ao controle e tomada de decisão por empresas de pequeno e médio portes.
2. Rastreabilidade e modernização do processo produtivo através do uso do código de barras.
3. A importância de aplicar o projeto em outras de empresas com um sistema de Gestão da Qualidade enxuto.
4. Interação de todos os indicadores retirados do processo com um sistema ERP.
5. Aplicação da teoria em ambiente real.
6. Ferramentas teóricas que são usadas de forma manual serão automatizadas no processo.
7. Estudo de caso pode gerar publicações científicas através das ferramentas de gestão utilizando os conceitos da Indústria 4.0.
8. Implementação de sistema de gestão de controle de processo com ênfase na qualidade.

9. Obviamente que, em função do tempo de aplicação do sistema, à medida que um histórico de dados substancial for sendo formado, novos conceitos da Indústria 4.0 poderão ser aplicados.

O modelo de rastreabilidade proposto (Rast 4.0) mostrou-se superior nos quesitos qualidade, produtividade, tempo de reação (com redução de tempo ao tratar os problemas de qualidade) e custos de manutenção se comparado ao modelo convencional, realizado manualmente pelos operadores da fábrica de tanques de capacitores.

Além dos benefícios já citados, proporciona maior durabilidade na marcação das peças na rastreabilidade interna, diminui o retrabalho na linha de produção e a atuação imediata nos possíveis defeitos e problemas encontrados na linha de produção.

## 6. TRABALHO FUTUROS

Como sugestão de trabalhos futuros, podem ser citadas as seguintes linhas de continuidade do trabalho:

- Tratamento com técnicas de Big Data após formação de banco de dados de grande porte.
- Introdução de técnicas de mineração de dados para extração de conhecimento no processo sob monitoramento.
- Introdução de realidade aumentada no processo sob monitoramento com integração com o RAST4.0.
- Criação de robôs autônomos para preenchimento automático de formulários da qualidade.

## APÊNDICE

### APÊNDICE A: Software originado no contexto da dissertação

Baseado na proposição, especificações e métodos estabelecidos pelo presente trabalho, a equipe de desenvolvimento da empresa de base tecnológica, selecionada como caso de estudo desta dissertação, desenvolveu o software do sistema de rastreabilidade denominado de RAST4.0.

A plataforma de controle de rastreamento e produção RAST4.0 é composta, basicamente, por dois subsistemas: o Sistema Principal e o Painel Remoto. Ambos os sistemas foram baseados na plataforma ASP.NET da Microsoft, com sua interface basicamente operada na plataforma WEB. O banco de dados vinculado a plataforma é o SQL Server 2019.

O Sistema Principal pode ser acessado por qualquer navegador Web, desde que esteja na mesma rede local que onde está instalado o seu servidor. Já o software do Painel Remoto é um software embarcado no equipamento especialmente desenvolvido para ser instalado em cada um dos pontos de produção da caixa de capacitor (corte, dobra, solda, etc.).

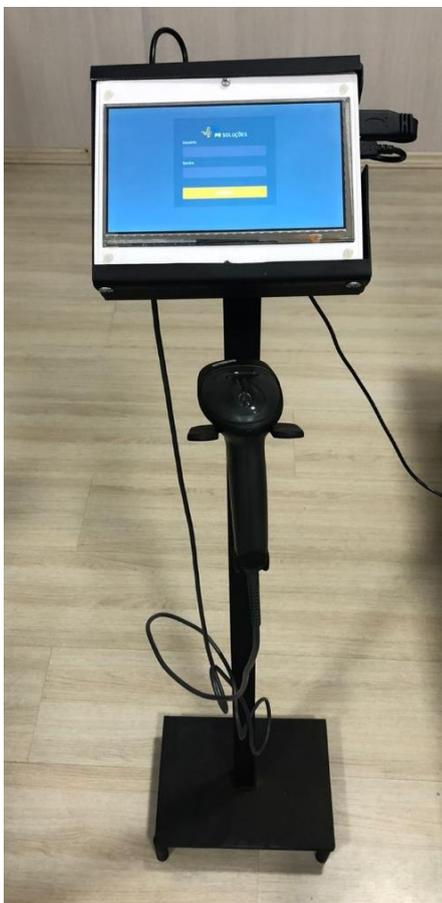
As telas do software desenvolvido foram apresentadas na seção 4.2.

## APÊNDICE B: Produto tecnológico originado no contexto da dissertação

Baseado na proposição, especificações e métodos estabelecidos pelo presente trabalho, a equipe de desenvolvimento da empresa de base tecnológica, selecionada como caso de estudo desta dissertação, desenvolveu o hardware do sistema de rastreabilidade denominado de RAST4.0.

O hardware é composto de um Mini PC Raspberry Pi 3B, uma tela touch screen, um leitor de código de barras e um pedestal de sustentação.

A figura abaixo apresenta o hardware montado na configuração de totem para poder ser alocado ao lado de cada célula de produção de modo a permitir a rastreabilidade do processo.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbasi,A., Sarker,S., Chiang, R.H. Big data research in information systems: Toward an inclusive research agenda. *Journal of the Association for Information Systems*, 17, 2016.
- ALMADA-LOBO, Francisco. The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). *Journal of Innovation Management*, 2015.
- ALMADA-LOBO, F. The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). *Journal of Innovation Management*, 3(4):17. 2016
- ALMEIDA, P. S. de. Indústria 4.0: Princípios básicos, aplicabilidade e implantação na área industrial. São Paulo: Érica, 2019.
- ALTER, S. Information systems: a management perspective. San Francisco: University of San Francisco Publisher, 1991. 848 p.
- A.Sanders, C.Elanfeswaran, and J.Wulfsberg, “Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing,” *J. Ind. Eng. Manag.*, vol. 9, no. 3, pp. 811–833, 2016.
- ASHTON, KEVIN. That ‘Internet of Things’ thing. *Publicano no RFID Journal*, 2009. Disponível em <http://www.itrc.jp/libraries/RFIDjournalThat%20Internet%20of%20Things%20Thing.pdf>. Acesso em 19/07/2022.
- Ashton K (2009) That “Internet of Things” Thing. *RFID J*
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 9000:2015: **Sistemas de gestão da qualidade - Fundamentos e Vocabulários**. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 9001:2015: **Sistemas de gestão da qualidade - requisitos**. Rio de Janeiro, 2015.
- ATZORI, Luigi; IERA, Antonio; MORABITO, Giacomo. *The Internet of Things: a survey*. Computer Networks, 2010
- BAUER, W.; SCHLUND, S.; MARRENBACH, D.; GANSCHAR, O (BITKOM). *Industrie 4.0 - volkswirtschaftliches potenzial*. Berlin, 2014.
- BAUERNHANSL, T.; TEN HOMPEL, M.; VOGEL-HEUSE, B. *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik- Anwendung, Technologien und Migration*. Alemanha: Springer Vieweg, 2014.
- BECHINI, Alessio; CIMINO,Mário G.C.A; MAECELLONI, Francesco; TOMASI, Andrea. Patterns and technologies for enabling supply chain traceability through collaborative e-business. *Elsevier ScienceDirect Journals Informatio and software Technology*. Volume 50, Inssue 4, March 2008, Pages 342 – 359. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2007.02.017>
- BLANCOU, J.,2001, A history of the traceability of animals and animal products. *Scientific and Technical Review*. Office International des Epizooties, v. 20, n. 2(August), pp. 420-425.
- BLANCO-NOVOA, Ó.; FERNÁNDEZ-CARAMÉS, T.M.; FRAGA-LAMAS, P.; VILAR-MONTESINOS, M.A. A Practical Evaluation of Commercial Industrial Augmented Reality Systems in an Industry 4.0 Shipyard. *IEEE Access* 2018, 6, 8201–8218.
- BOUGDIRA, Abdesselam; AKHARRAZ, Ismail; AHAITOUF, Abdelaziz. The traceability proposal for industry

4.0. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, [s. l.], v. 11, p. 3355-3369, 2020.

Bryman, A. (1989) *Research methods and organization studies*. London, UK: Unwin Hyman.

Broy, Manfred: “Cyber Physical Systems - Wissenschaftliche Herausforderungen bei der Entwicklung,” Verlag: Springer Berlin Heidelberg; Auflage: 1ª edição, 2010.

Buer, SV, JO Strandhagen e FTS Chan. 2018. “The Link Between Industry 4.0 and Lean Manufacturing: Mapping Pesquisa Atual e Estabelecendo uma Agenda de Pesquisa. ” *International Journal of Production Research* 56 (8): 2924–2940. doi:10.1080 / 00207543.2018.1442945.

Chapaval, L.; ALVES, F.S.F. Rastreabilidade na Produção de Leite de Cabra: Diferencial para um Agronegócio Sustentável. Portal do Leite no Nordeste. Embrapa. 2008.

C. F. Chien, T. W. Liao, and R. Dou, “Soft computing for smart production to empower industry 4.0,” *Appl. Soft Comput. J.*, vol.68, pp. 833–834, 2018.

Cauchick Miguel, P.A., & Sousa, R. O método do estudo de caso na Engenharia de Produção In Cauchick.

CEFRIO. *Prendre part à la révolution manufacturière? Du rattrapage technologique à l'Industrie 4.0 chez les PME*. Montreal: CEFRIO, 2016

CHAMON, Edna (org). *Gestão Integrada de Organizações*. Rio de Janeiro, 2008.

CHAPAVAL, L.; ALVES, F. S. F. Rastreabilidade na produção de leite de cabra: diferencial para um agronegócio sustentável. EMBRAPA Caprinos, 2008. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/92886/1/Midia-Rastreabilidade-na-Producao-de-Leite-de-Cabra.pdf> acesso: 09/08/2022.

C. Lin, D. He, X. Huang, K. K. R. Choo, and A. V. Vasilakos, “BSeIn: A blockchain-based secure mutual authentication with fine-grained access control system for industry 4.0,” *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 116, no. May, pp. 42–52, 2018.

C.H.P. Mello, C.E.S. Silva, J. B. Turrioni, L.G.M. Souza, “ISO 9001:200 – Sistema de Gestão da Qualidade Para Operações de Produção e Serviços”. Editora Atlas. São Paulo, 2008.

CHADEGANI, A. A. et al. A comparison between two main academic literature collections: Web of science and scopus databases. *Asian Social Science*, v. 9, n.5, p. 18–26, 2013.

CHECKLAND, P.; HOLWELL, S. *Action research: its nature and validity*. *Systems Practice and Action Research*, v. 11, n. 1, p. 9-21, 1998.

Chen, H., Chiang, R. H. L., & Storey, V. C. (2012). *Business Intelligence and Analytics: From Big Data to Big Impact*. *MIS Quarterly*, 36(4), 1165–1188.

COELHO, Pedro M. N. N. *Rumo à Indústria 4.0*. Coimbra, Portugal: Universidade de Coimbra: 2016.

Constantiou, I.D., Kallinikos J. *New games, new rules: Big data and the changing context of strategy*. *Journal of Information Technology*, 30 (1) (2015), pp. 44-57.

CORDEIRO, Ana Carolina Carvalho. *Análise do uso de código de rastreabilidade em produtos vegetais frescos e processados comercializados na cidade de Florianópolis S/C*. Florianópolis, 2019. Disponível

em:<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/199727/TCC%20Ana%20Carolina%20C%20Cordeiro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

COKSUN V.; OK, K.; B. OZDENIZCI, B. Near Field Communications: From Theory to Practice. 1st ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2012.

COUGHLAN, P.; COGHLAN, D. Action research for operations management. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 22, n. 2, p. 220-240, 2002. <http://dx.doi.org/10.1108/01443570210417515>

C.R. Rezende, “Estratégias de Coordenação e Qualidade na Cadeia dos Queijos Finos”. Rio de Janeiro, Fevereiro 2004. 208p. Tese de Doutorado em desenvolvimento e agricultura – Programa de Pós-Graduação em desenvolvimento agricultura e sociedade, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

D.-H. Shih, P.-L. Sun, D. C. Yen, and S.-M. Huang, “Taxonomy and Survey of RFID Anti-collision Protocols,” *Computer Communications*, vol. 29, no. 11, pp. 2150–2166, 2006.

DABBENE, Fabrizio; GAY, Paolo; TORTIA, Cristina. Traceability issues in food supply chain management: A review. *Elsevier Science Direct Journals Biosystems Engineering*. Volume 120, April 2014, Pages 65-80. <http://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.09.006>.

DENUWARA, Navodya; MAIJALA, Juha; HAKOVIRTA, Marko. Sustainability benefits of RFID technology in the apparel industry. *Sustainability (Switzerland)*, [s. l.], v. 11, n. 22, p. 1–14, 2019.

EDEN, C.; HUXHAM, C. Action research for management research. *British Journal of Management*, v. 7, p. 75-86, 1996.

ENGEL, Guido I. Pesquisa-ação. *Educar*, Curitiba, n 16, p. 181-191. 2000. Editora da UFPR. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0104-4060.214>>. Acesso em: 01 mai. 2022.

F. Almada-Lobo, “The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES),” *J. Innov. Manag.*, vol.3, no. 4, p. 17, 2016.

Fraga-Lamas, P.; Fernández-Caramés, T.M.; Blanco-Novoa, Ó.; Vilar-Montesinos, M.A. A Review on Industrial Augmented Reality Systems for the Industry 4.0 Shipyard. *IEEE Access* 2018, 6, 13358–13375.

FRANK, A. G.; DALENOGARE, L. S.; AYALAM N. F. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, v. 201, p. 15-26, 2019.

FEIGENBAUM, A.V. Controle da Qualidade Total - Gestão e sistemas. Vol 1, Makron Books do Brasil, Editora Mcgraw-Hill Ltda, São Paulo, 1994.

FELÍCIO, P.E. Rastreabilidade aplicada a carne bovina. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38. 2001, Piracicaba, SP. Anais... Piracicaba: FEALQ: ESALQ, 2001. 7p.

FERNÁNDEZ-CARAMÉS, Tiago M.; FRAGA-LAMAS, Paula. A Review on Human-Centered IoT-Connected Smart Labels for the Industry 4.0. *IEEE Access*, [s. l.], v. 6, p. 25939–25957, 2018.

FERNÁNDEZ-CARAMÉS, T. M. et al. Towards an Autonomous Industry 4.0 Warehouse: A UAV and Blockchain-Based System for Inventory and Traceability Applications in Big Data-Driven Supply Chain Management. *Sensors*, [s. l.], v. 19, n. 10, 2019.

FREEMAN, C.; SOETE, L. The economics of industrial innovation. MIT Press, 1997.

FREIBERGER, Andrey; BEZERRA, Marcelo B. P. RFID e seus impactos na logística, 2007.

GIACOBBO, Daniela Garcia. Fronta, Leandro Mello. AGRO: O PAPEL DO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO NAS NOVAS RELAÇÕES ECONÔMICAS MUNDI. 1º ed.- Rio de Janeiro: Synergia, 2021. ISBN 6586214505, 9786586214505

GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. Revista de Administração de Empresas, v. 35, n. 2, p. 57-63, mar./abr., 1995.

GRAMPES, Jorge Adriano. Aplicabilidade da Tecnologia RFID na Rastreabilidade Alimentar. Disponível em: Acesso em 28 de março, 2014.

GREEN, R.; HY, M. Securite alimentaire et traçabilité. Cahier du LORIAS nº 2003-01, Janeiro 2003.

GRÖGER, Christoph et al. The Operational Process Dashboard for Manufacturing. In: Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems 2013. Procedia CIRP, v.7, p. 205-210, 2013.

Gryna, F.M. Planejamento da produção. In: Juran, J.M.; Gryna, F.M. (Orgs). Controle de qualidade: handbook. São Paulo: Makron Books, v.3, p.244- 332., 1992.

GS1. (2008). Norma Global para a Rastreabilidade.

Gubbi J, Buyya R, Marusic S, Palaniswami M (2013) Internet of Things (IoT): a vision, architectural elements, and future directions. Future Gener Comp Syst 29(7):1645–1660. doi:10.1016/j.future.2013.01.010

Guo, L., W. Fang, G. Wang, L. Zheng. Intelligent Traffic Management System Base on WSN and RFID. International Conference on Computer and Communication Technologies in Agriculture Engineering. Chengdu, China, 2010

HALLER, S. The Things in the Internet of Things, Proceedings of Internet of Things Conference 2010, Tokyo, 2010.

Hannah, M. (2015) Industry 4.0 : turning the vision into reality. Manufacturing Business Technology, 72, April, 5-9

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO B. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review, Working Paper No.01, 2015.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In: Hawaii International Conference on Systems Science. 2016. p. 3928–3937.  
<https://www.aczinox.com.br/blog/ler/16/aisi-3043041-e-sua-importancia.html#:~:text=O%20a%C3%A7o%20inox%20AISI%20304,rachaduras%20mesmo%20em%20baixa%20temperaturas>. Acesso: 17/04/2023.

<https://codigosdebarrasbrasil.com.br/a-evolucao-e-historia-do-codigo-de-barras/> acesso 27/05/2021.

<https://codigosdebarrasbrasil.com.br/como-coacutedigos-de-barras-funcionam.html> Acesso: 17/04/2023.

<https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/rastreabilidade>.

<https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/ac/artigos/epp-entenda-o-que-e-uma-empresa-de-pequeno-porte.305fd6ab067d9710VgnVCM100000d701210aRCRD> Acesso: 17/04/2023.

JANSEN-Vullers, M. H. Managing Traceability Information in Manufacture. *International Journal of Information Management*, 2003.

JURAN, J.M.; GRZYNA, F.M.; BINGHAM, R.S. *Quality Control: Handbook*. EUA: McGraw-Hill Book Company, 1974.

JURAN, J.M.; GRZYNA, F.M.; *Planejamento e análise da qualidade: do desenvolvimento do produto ao uso*. 2ªed. EUA: McGraw-Hill Book Company, Nova York.1980.

Kagermann, H., W. Wahlster and J. Helbig, eds.: *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group*.2013.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. *Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative Industry 4.0*. Frankfurt, 2013.

KAGERMANN, H. Chancen von industrie 4.0 nutzen. In: Bauernhansl T.; ten Hompel M.; Vogel-Heuser B. (Eds). *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden, Alemanha: Springer Vieweg. p.603- 614., 2014.

Kagermann et al. (2011) Kagermann, H., W. Lukas e W. Wahlster, 2011: *Indústria 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. Revolução industrial*. VDI nachrichten, 13

KARLSEN K, DONNELLY KA-M, OLSEN O (2011) Granularity and its importance for traceability in a farmed salmon supply chain. *J FoodEng* 102(1):1–8

Kohler, D. e JD Weisz. 2016. *Indústria 4.0 - Les défis de la transformation numérique du modèle industriel allemand [Indústria 4.0: Desafios da transformação digital para o modelo industrial alemão]*. Paris: La Documentation Française.

Kvarnström, B. e Vanhatalo, E. (2010), "Usando RFID para melhorar a rastreabilidade na indústria de processo: Experimentos em uma cadeia de distribuição de pelotas de minério de ferro", *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 21 No. 1, pp. 139-154. <https://doi.org/10.1108/17410381011011524>

KOSHY, Elizabeth; KOSHY, Valsa; WATERMAN, Heather. *Action research in healthcare*. Sage, 2010.

L. A. Burdet, "RFID Multiple Access Method," Technical Report ETH, 2004.

LASI, H.; FETTKE, P.; KEMPER, H.-G.; FELD, T.; HOFFMANN, M. *Industry 4.0. Business & Information Systems Engineering*, Springer, v. 6, n. 4, p. 239–242, 2014.

Lee, Edward: "Cyber Physical Systems: Design Challenges," University of California, Berkeley Technical Report No. UCB/EECS-2008-8.

LEITE, Luciano Jorge Amorim. *SISTEMA INTEGRADO DE RASTREABILIDADE: UMA FERRAMENTA PARA IMPULSIONAR O DESENVOLVIMENTO DA CADEIA PRODUTIVA DO CAMARÃO CULTIVADO NO ESTADO DO CEARÁ – 42 BRASIL*.2008. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Marinhas Tropicais, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

LEONELLI, Fabiana Cunha Viana; TOLEDO, José Carlos de. *Rastreabilidade em cadeias agroindustriais: conceitos e aplicações*. Circular Técnica 33, EMBRAPA, ISSN 1517-4778. São Carlos, SP, 2006.

Li M., Huang G.Q. Production-intralogistics synchronization of industry 4.0 flexible assembly lines under graduation intelligent manufacturing system.*International Journal of Production Economics*.Volume 241, November 2021, 108272.

LIMA, R. F. et al. Inovação em Serviços: A Utilização da Tecnologia RFID e sua Replicação em Outras Unidades Varejistas - Um Estudo Empírico: O Caso Pão de Açúcar. ANPAD, 26 Simpósio de Gestão da Inovação Tecnológica, Vitória, 2010.

LIMA, Selma Regina de; SILVA, Angélica de Lima. A UTILIZAÇÃO DO RFID NAS OPERAÇÕES LOGÍSTICAS. 2019. 14 f. Disponível em: <http://repositorio.pgsskroton.com.br/bitstream/123456789/1078/1/artigo%2019.pdf>. Acesso em: 10 set. 2019.

LOPES, Luiz Carlos. EAN BRASIL 20 anos. São Paulo: Ricardo Viveiros, 2003. 64 p.

MACAULAY, J.; BUCKALEW, L.; CHUNG, G. Internet of Things in Logistics. A collaborative report by DHL and Cisco on implications and use cases for the logistic industry. Troisdorf, Germany, 2015.

MACHADO, R. T. M. Rastreabilidade, tecnologia da informação e coordenação de sistemas agroindustriais. 2000, 256 f. Tese (Doutorado em administração). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, 2000.

MACHADO, R. T. M. Rastreabilidade, tecnologia da informação e coordenação de sistemas agroindustriais. 2000, 256 f. Tese (Doutorado em administração). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, 2000.

MACHADO, R.T.M. Rastreabilidade, tecnologia da informação e coordenação de sistemas agroindustriais. 2000. 256p. Tese (Doutorado em Administração) -Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo São Paulo, USP, São Paulo, SP.

MACHADO, Rosa Teresa Moreira Machado. Sinais de qualidade e rastreabilidade de alimentos: uma visão sistêmica. Organizações Rurais & Agroindustriais, Volume 07, p. 227-237, Outubro 2005, ISSN: 2238-6890.

MAKSIMCHUK, O., & PERSHINA, T. (2017). A new paradigm of industrial system optimization based on the conception "Industry 4.0." MATEC Web of Conferences, 129, 4006. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201712904006>.

MANIA I, DELGADO AM, BARONE C, PARISI S (2018) Food traceability system in Europe: basic and regulatory requirements. In: Traceability in the dairy industry in Europe: theory and practice. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00446-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00446-0_1)

MARTINEZ, F.; JIRSAK, P.; LORENC, M. Industry 4.0. The end Lean Management? In: International days of statistics and economics, 10, 2016, Praga.

Martins, Flávia de Oliveira e Silva; Ribeiro, Mara Lucia Leite. Implantação e uso de Sistema de Rastreabilidade Automatizado em Centro de Materiais e Esterilização. REV. SOBECC, São Paulo (SP), Brasil. Jan/Mar.2017. DOI: 10.5327/Z1414-4425201700010009

Mattos LM, Moura MA, Maldonade IR, Silva EYY. Produção segura e rastreabilidade de hortaliças. Hortic Bras. 2009;27(4):408-13.

Mayr, A., M. Weigelt, A. Kuhl, S. Grimm, A. Erll, M. Potzel e J. Franke. 2018. "Lean 4.0 - A Conceptual Conjunction of Lean Management e Industry 4.0." 51ª Conferência CIRP sobre Sistemas de Fabricação, Procedia CIRP 72: 622-628. doi:10.1016 / j.procir.2018.03.292

METZNER, V. C. V.; CUGNASCA, C. E. Modelo de Rastreabilidade de Medicamentos Usando RFID e o Conceito de Internet das Coisas. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 35., 2015, Anais.

MIGUEL, P.A. (Org.) (2012) Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. 2.ed.

Rio de Janeiro: Elsevier.

M. Hermann, T. Pentek and B. Otto, "Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios," 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), 2016, pp. 3928-3937, doi: 10.1109/HICSS.2016.488.

Mikalef, P., A. Pateli, A. Information technology-enabled dynamic capabilities and their indirect effect on competitive performance: Findings from PLS-SEM and fsQCA. *Journal of Business Research*, 70 (2017), pp. 1-16

Mikalef, P., Boura, M., G. Lekakos, G., Krogstie, J. Big data analytics capabilities and innovation: The mediating role of dynamic capabilities and moderating effect of the environment. *British Journal of Management* (2019), 10.1111/1467-8551.12343

MOE, T. Perspectives on traceability in food manufacture. *Trends in Food Science & Technology*, 9, p. 211-14. 1998.

MOEUF, A.; PELLERIN, R.; LAMOURI, S.; TAMAYO-GIRALDO, S.; BARBARAY, R. (2017). The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(3), 1118-1136.

MOHELSKA, H.; & SOKOLOVA, M. (2018). Management approaches for Industry 4.0 – The organizational culture perspective. *Technological and Economic Development of Economy*, v. 24, n. 6, p. 2225-2240. DOI: <10.3846/tede.2018.6397.

MOHER, D. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLOS Medicine*, v. 6, n.7, 2009.

MOTA, Rafael Perazzo Barbosa. RFID - Radio Frequency identification. São Paulo: Instituto de Matemática e Estatística da USP. Monografia desenvolvida para a disciplina de Computação Móvel do Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação, 2012.

MUELLER, E.; CHEN, X.; RIEDEL, R. Challenges and Requirements for the Application of Industry 4.0: a Special Insight with the Usage of Cyber-Physical System. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, v. 30, p. 1050–1057, 2017.

M. Y. Santos et al., "A Big Data system supporting Bosch Braga Industry 4.0 strategy," *Int. J. Inf. Manage.*, vol. 37, no. 6, pp. 750–760, 2017.

NARCISO, Marcelo Gonçalves. APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DE IDENTIFICAÇÃO POR RÁDIOFREQUÊNCIA (RFID) PARA CONTROLE DE BENS PATRIMONIAIS PELA WEB. 2008. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/80372/1/rfid.PDF>. Acesso em 01 jun. 2019.

NASCIMENTO, F. Indústria 4.0: Projeto e Implantação na Automação Industrial. [S. l.], 7 abr. 2018. Disponível em: <http://professorpaes.blogspot.com/2018/04/industria-40-projeto-e-implantacao-na.html>. Acesso em: 31 ago. 2020.

NASSAR, A.M. Certificação no agribusiness. In: ZYLBERSZTAJN, D.; SCARE, R.F. (Org.). *Gestão da qualidade no agribusiness: estudos e casos*, São Paulo: Atlas, p.30-46. 2003.

NEPOMUCENO, T. A. F. Sistema de Identificação de Veículos Automotores Utilizando Tecnologia RFID. TCC (Eng.<sup>a</sup> de Computação). Brasília: Uniceub, 2011.

NEPOMUCENO, T. A. F. Sistema de Identificação de Veículos Automotores Utilizando Tecnologia RFID. Monografia apresentada ao Centro Universitário de Brasília – UniCEUB, Curso de Engenharia de Computação, Brasília, DF, 2011.

NEPOMUCENO, Thiago, A. F. Sistema de Identificação de Veículos Automotores Utilizando Tecnologia RFID. Disponível em: Acesso em 03 de maio, 2014.

Ng, I.C L., & Wakenshaw, S.Y.L. (2017) The Internet-of-Things: Review and research directions. *International Journal of Research in Marketing*, 34(1), 3–21. Ochoa, S. F., Fortino, G., & Fatta, G. (2017) Cyber-physical systems, internet of things and big data. *Future Generation Computer Systems*, 75, 82–84

N.J.A. Kloster, “O Aprendizado na Implantação de um Sistema para Avaliação da Conformidade e Certificação de Produtos: um estudo de caso”. Florianópolis, Abril 2003. 103p. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Programa de Pós-Graduação.

N. Jazdi, "Cyber Physical Systems in the context of Industry 4.0," 2014 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, 2014, pp. 1-4, doi: 10.1109/AQTR.2014.6857843.

OLSEN P.; BORIT M. How to define traceability. *Trends in Food Science and Technology*, [s. l.], v. 29, n. 2, p. 142–150, 2013

PALLET, D.; OLIVEIRA, I. J. de; BRABET, C.; IBA, S. K. Um panorama da rastreabilidade dos produtos agropecuários do Brasil destinados à exportação: carnes, soja e frutas. Piracicaba: ESALQ-USP, 2003.

PEREZ, C. Technological revolutions and techno-economic paradigms. *Cambridge Journal of Economics*, [s.l.], v.34, n.1, p.185-202, 2010.

PASSARETTI, Caio Santi. RFID – Identificação por radiofrequência movendo-se para o futuro. 2008. 121f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

PRADO, Neli R. da Silveira Almeida; PEREIRA, Néocles Alves; POLITANO, Paulo Rogério. Dificuldades para a adoção de RFID nas operações de uma cadeia de suprimentos. XXVI ENEGEP. Fortaleza, CE, 2006.

RAMALHO, T. S. et al. Internet das coisas a serviço da defesa: proposição de um sistema de rastreamento de armamentos. RASI- Revista de Administração, Sociedade e Inovação, Volta Redonda/RJ, v. 6, n. 1, p. 43-59, jan.-abr. 2020. Disponível em: <http://oaji.net/articles/2020/5433-1585089901.pdf> Acesso em 08 fev. 2020

RAMESH, B. Factors influencing requirements traceability practice. *Communications of the ACM*. V.41, n. 12, p. 37-44, 1998.

RAMIREZ, J. J. Radio frequency identification (RFID) technology for academic, logistics and passenger transport applications. *Ingeniería e Investigación*. Vol. 32, No. 3, pp. 58-65, 2012.

RANGEL Y. L. et al. Análise Bibliométrica Da Indústria 4.0: Traçando Tendências Para O Futuro. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 39., 2019, Anais eletrônicos... Santos - SP, 2019.

REI, Antonio Jorge Laranjeira. RFID Versus Código de Barras da Produção à Grande Distribuição. Porto, Portugal: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, 2010.

ROBLEK, V., Meško, M., & Krapež, A. (2016). A complex view of industry 4.0. *Sage Open*, 6(2): 16-21

ROCHA, J.L.P.; LOPES, M.A. Rastreabilidade e certificação da produção da carne bovina: um comparativo entre alguns sistemas. *Revista Brasileira de Agroinformática*, São Paulo, v.4, n.2, p.130-146, 2002.

RODRIGUES, Manoel. Utilização da tecnologia RFID em logística: aplicação na indústria siderúrgica. 2011. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de transportes) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2011.

ROSIN F. et al. Impacts of Industry 4.0 technologies on Lean principles. *International Journal of Production Research*, v. 58, n. n6, p. 1644-1661, 2019.

RÜßMANN, M.; LORENZ, M.; GERBERT, P.; WALDNER, M.; JUSTUS, J.; ENGEL, P.; HARNISCH, M. Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston Consulting Group*, v. 9, 2015.

- Russom, P. (2011). TDWI Best Practices Report: Big Data Analytics (Best Practices) (pp. 1–35). The Data Warehouse Institute (TDWI). Retrieved from <http://tdwi.org/research/2011/09/best-practices-report-q4-big-data-analytics.aspx?tc=page0>
- RÜTTIMANN, B.; STOCKLI, M. Going Beyond Triviality: The Toyota Production System-Lean Manufacturing beyond Muda and Kaizen. *Journal of Service Science and Management*, v.9, n.6, p. 140-149, 2016.
- R. Want, “The Magic of RFID,” *ACM Queue*, vol. 2, pp. 40–48, October 2004.
- SACOMANO, J. B. et al. *Indústria 4.0: Conceitos e fundamentos*. São Paulo: Blucher, 2018.
- SALAZAR, L.C. Percepção do Consumidor Brasileiro frente a rastreabilidade de alimentos. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Setembro. 2021.
- SANTANA, Sandra R. Matias. RFID - Identificação por radiofrequência. Disponível em: Acesso em 29 de março, 2014
- SCHMIDT, R. et al. Industry 4.0- potentials for creating smart products: empirical research results. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON BUSINESS INFORMATION SYSTEMS (BIS)*, 18., 2015, Poznań, Polônia. *Proceedings...[s.l.]*: Springer International Publishing, p.16-27. 2015
- ŠKILJO, Maja et al. Analysis of passive RFID applicability in a retail store: What can we expect? *Sensors (Switzerland)*, [s. l.], v. 20, n. 7, 2020.
- SONG, Y. et al. Exploring two decades of research on classroom dialogue by using bibliometric analysis. *Computers in Education*, v. 137, p. 12–31, 2019.
- TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, v. 14, p. 207–222, 2003.
- SANTOS, B., SILVA, L., CELES, C, NETO J., VIEIRA, M., VIEIRA, L., GOUSSEVSKAIA O., Loureiro, A. *Internet das Coisas: da Teoria à Prática*. XXXIV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC) 2016.
- SCHEINEDER, J. *Medição do nível de maturidade do uso de tecnologia em um ambiente da indústria 4.0*. UCS, 2018.
- SCHWAB, K. *A quarta revolução industrial*. São Paulo: Edipro, 2016.
- SCHWAB, K; DAVIS, N. *Aplicando a quarta revolução industrial*. São Paulo: Edipro, 2018.
- SILVA, Ana Karoline da; GUEDES, Eduardo Emanuel Vieira. *Controle do índice de retrabalho: estudo de caso em uma empresa do ramo automotivo*. Repositório UNIS, FEPEMIG, 2020.
- STANTON, M. - A identificação por rádio frequência está chegando. *Jornal O Estado de São Paulo, Coluna Tecnologia*, 2004. Disponível em Acesso em: agosto de 2011.
- SOUZA, Dácio Antonio M. de; SOUZA, Harley Ramos de; SÁ, Marco Aurélio de Lima; CINTRA, Sérgio Paulo V. *A Logística na gestão de estoque por meio da Identificação por Rádio Frequência (RFID)*. 2013. Disponível em: [https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos09/233\\_233\\_A\\_Logistica.pdf](https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos09/233_233_A_Logistica.pdf). Acesso em: 26 ago. 2019.
- TANENBAUM, Andrew S; WETHERALL, David. *Redes de Computadores*. Tradução Daniel Vieira. Ed. 5. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.
- THIOLLENT, M. *Metodologia da Pesquisa Ação*. São Paulo: Atlas, 1997.
- THIOLLENT, M. *Metodologia da pesquisa-ação*. 15. ed. São Paulo: Cortez, 2007.
- THIOLLENT, Michel. *Metodologia da pesquisa-ação*. 18. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

T. K. Sung, "Industry 4.0: A Korea perspective," *Technol.Forecast. Soc. Change*, vol. 132, no. November 2017, pp. 40–45, 2018.

TM Böhler: "Industrie 4.0 – Smarte Produkte und Fabriken Revolutionieren die Industrie," In: *Produktion Magazin*, 10. Mai 2012; Abgerufen em 5 de setembro de 2012.

TOLEDO, J.C. Gestão da qualidade na agroindústria. In: BATALHA, M.O. (Coord.). *Gestão agroindustrial*, São Paulo: Atlas, p.465-517. 2001

URBIKAIN, G.; ALVAREZ, A.; LÓPEZ DE LACALLE, L.N.; ARSUAGA, M.; ALONSO, M.A.; VEIGA, F. Reliable turning process by the early use of a deep simulation model at several manufacturing stages. *Preprints*,[s.l.], 2016.

VANTI, N. Da bibliometria à webometria: uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento. *Ciência da Informação*, Brasília, v. 31, p. 152-162, 2002.

G. Wang, A. Gunasekaran, E.W.T. Ngai, T. Papadopoulos. Big data analytics in logistics and supply chain management: certain investigations for research and applications *Int. J. Prod. Econ.*, 176 (2016), pp. 98-110, 10.1016/j.ijpe.2016.03.014

Eng, G., Liu, J., He, Y., & Zhuang, C. (2017). Quality Data Collection and Management Technology of Aerospace Complex Product Assembly Process. In *5th International Conference on Computer-Aided Design, Manufacturing, Modeling and Simulation* (Vol. 1834, pp. 1–6). Busan, South Korea: American Institute of Physics.

WESTBROOK, R. Action research: a new paradigm for research in production and operations management. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 15, n. 12, p. 6-20, 1995. <http://dx.doi.org/10.1108/01443579510104466>

Williamson J.E. Advance instrument tracking paves the way for quality. *Healthcare purchasing news*. 2012;20(2):5-10.

Yang, D., Liu, F., Liang, Y. (2010). "A Survey of the Internet of Things". *International Conference on E-Business Intelligence (ICEBI-2010): Advances in Intelligent Systems Research*, pages 358 – 366. Atlantis Press.

YIN, R. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

Zhong, RY; Xu,X; Wang, LH, IoT-enabled Smart Factory Visibility and Traceability usig Laser-scanners, 2017.

Zhong, Y. R.; Chen Xu, C. C.; George, Q. H. (2017). Big Data Analytics for Physical Internet-based inteligente manufacturing shop floors. *International Journal of Production Research*, 55(9), 2610-2621.

ZYLBERSZTAJN, D. Gestão da qualidade no agribusiness. In: ZYLBERSZTAJN, D.; SCARE, R.F. (Org.). *Gestão da qualidade no agribusiness: estudos e casos*, São Paulo: Atlas, p.15-17. 2003.

C. Hegedús, A. Frankó and P. Varga, "Asset and Production Tracking through Value Chains for Industry 4.0 using the Arrowhead Framework," *2019 IEEE International Conference on Industrial Cyber Physical Systems (ICPS)*, Taipei, Taiwan, 2019, pp. 655-660, doi: 10.1109/ICPHYS.2019.8780381.

## ANEXO

Anexo A: análise sistemática dos 16 artigos selecionados

Relação dos artigos usados na Revisão Sistemática da Literatura			
	Autor	Título	Ano de publicação
1	FERNÁNDEZ-CARAMÉS, Tiago M.; FRAGA-LAMAS, Paula.	Review on Human-Centered IoT-Connected Smart Labels for the Industry 4.0. IEEE Access, [s. l.], v. 6, p. 25939–25957, 2018.	2018
2	F. Almada-Lobo,	“The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES),” J. Innov. Manag., vol.3, no. 4, p. 17, 2016	2016
3	FERNÁNDEZ-CARAMÉS, T. M. <i>et al.</i> ,	Towards an Autonomous Industry 4.0 Warehouse: A UAV and Blockchain-Based System for Inventory and Traceability Applications in Big Data-Driven Supply Chain Management. Sensors, [s. l.], v. 19, n. 10, 2019	2019
4	ALMADA-LOBO, F	The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). Journal of Innovation Management, 3(4):17. 2016	2016
5	ATZORI, Luigi; IERA, Antonio; MORABITO, Giacomo	The Internet of Things: a survey. Computer Networks, 2010	2010
6	BAUER, W.; SCHLUND, S.; MARRENBACH, D.; GANSCHAR	O (BITKOM). Industrie 4.0 -volkswirtschaftliches potenzial. Berlin, 2014.	2014
7	BLANCO-NOVOA, Ó.; FERNÁNDEZ-CARAMÉS, T.M.; FRAGA-LAMAS, P.; VILAR-MONTESINOS, M.A.	A Practical Evaluation of Commercial Industrial Augmented Reality Systems in an Industry 4.0 Shipyard. IEEE Access 2018, 6, 8201–8218	2018

8	FRANK, A. G.; DALENOGARE, L. S.; AYALAM N. F	Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. <i>International Journal of Production Economics</i> , v. 201, p. 15-26, 2019.	2019
9	Fraga-Lamas, P.; Fernández-Caramés, T.M.; Blanco-Novoa, Ó.; Vilar-Montesinos, M.A.	Review on Industrial Augmented Reality Systems for the Industry 4.0 Shipyard. <i>IEEE Access</i> 2018, 6, 13358–13375.	2018
10	FRANK, A. G.; DALENOGARE, L. S.; AYALAM N. F.	Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. <i>International Journal of Production Economics</i> , v. 201, p. 15-26, 2019.	2019
11	HALLER, S	The Things in the Internet of Things, Proceedings of Internet of Things Conference 2010, Tokyo, 2010.	2010
12	C. Lin, D. He, X. Huang, K. K. R. Choo, and A. V. Vasilakos	“BSeIn: A blockchain-based secure mutual authentication with fine-grained access control system for industry 4.0,” <i>J. Netw.Comput. Appl.</i> , vol. 116, no. May, pp. 42–52, 2018.	2018
13	Zhong, RY; Xu,X; Wang, LH	IoT-enabled Smart Factory Visibility and Traceability using Laser-scanners, 2017.	2017
14	Zhong, Y. R.; Chen Xu, C. C.; George, Q. H.	Big Data Analytics for Physical Internet-based intelligent manufacturing shop floors. <i>International Journal of Production Research</i> , 55(9), 2610-2621, 2017	2017
15	C. F. Chien, T. W. Liao, and R. Dou,	“Soft computing for smart production to empower industry 4.0,” <i>Appl. Soft Comput. J.</i> , vol.68, pp. 833–834, 2018	2018
16	BOUGDIRA, Abdesselam; AKHARRAZ, Ismail; AHAITOUF, Abdelaziz.	Abdelaziz. The traceability proposal for industry 4.0. <i>Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing</i> , [s. l.],v. 11, p. 3355-3369, 2020.	2020