

# **Projeto de Graduação**

## **Ciclo PDCA 4.0: ferramentas da qualidade integradas com as tecnologias da Indústria 4.0**

Por,

**Sarah de Campos Oliveira**

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Simone Borges Simão Monteiro

Brasília, 02 de setembro de 2022

**Universidade de Brasília**  
**Faculdade de Tecnologia**  
**Departamento de Engenharia de Produção**

Universidade de Brasília  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia de Produção

## PROJETO DE GRADUAÇÃO

# **Ciclo PDCA 4.0: ferramentas da qualidade integradas com as tecnologias da Indústria 4.0**

POR,  
**Sarah de Campos Oliveira**  
**Matrícula: 17/0071910**

Relatório submetido como requisito parcial para  
obtenção do grau de Engenheiro de Produção

### **Banca Examinadora**

Prof.<sup>a</sup> Orientadora Dra. Simone Borges Simão Monteiro, UnB/EPR  
Prof. Dr. Ricardo Coser Mergulhão, UFSCar  
Prof.<sup>a</sup> Irce Fernandes Gomes Guimaraes, UFOP

**Brasília, 02 de setembro de 2022.**

## RESUMO

A Gestão da Qualidade segue em constante evolução e precisa acompanhar as inovações do mercado para seguir auxiliando na melhoria contínua das organizações. Entre as inovações do mercado encontra-se a 4ª Revolução Industrial, que traz um novo cenário de integração de sistemas, maior automação dos processos e diversas possibilidades envolvendo tratamento de grandes volumes de dados. Nesse contexto, já existem comprovações da relação benéfica da Gestão da Qualidade junto à Indústria 4.0, porém não existe clareza das possibilidades de atuação conjunta desses elementos. Partindo disso, esse trabalho busca levantar as aplicações possíveis utilizando ferramentas da qualidade junto com tecnologias da Indústria 4.0 e analisar como as ferramentas podem auxiliar na implementação de novas tecnologias nas organizações. Para isso, utilizou-se a Teoria do Enfoque Meta-Analítico Consolidado (TEMAC) e uma pesquisa qualitativa com especialistas para compreender o estado da arte e subsidiar insumos para futuras aplicações envolvendo ferramentas da qualidade e tecnologias da Indústria 4.0. Esta pesquisa possui abordagem qualitativa e é classificada como exploratória, apresentando como estratégia uma pesquisa bibliográfica. As principais conclusões revelam que as ferramentas seguem necessárias na Indústria 4.0, porém sofrem adaptações e melhorias possibilitadas pelos avanços tecnológicos da Indústria 4.0 e, somado a isso, o valor que as ferramentas seguem agregando para a implementação de tecnologias nas organizações. A pesquisa apresenta o Ciclo PDCA 4.0, modelo baseado no ciclo PDCA que orienta como e em quais ferramentas as tecnologias podem auxiliar, buscando apoiar na melhor aderência das organizações às inovações da Indústria 4.0.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0; Ferramentas da Qualidade; Gestão da Qualidade; Ciclo PDCA 4.0

## **ABSTRACT**

Quality Management is constantly evolving and needs to keep up with market innovations in order to continue assisting in the continuous improvement of organizations. Among the market innovations is the 4th Industrial Revolution, which brings a new context of systems integration, greater automation of processes and several possibilities involving the treatment of large volumes of data. In this context, there is already evidence of the beneficial relationship of Quality Management with Industry 4.0, but there is no clarity on the possibilities of joint action of these elements. This work seeks to investigate the possible applications using quality tools along with Industry 4.0 technologies and analyze how the tools can assist in the implementation of new technologies in organizations. For that purpose the Theory of Consolidated Meta-Analytical Approach (TEMAC) and qualitative research with specialists were used to understand the state of the art and subsidize inputs for future applications involving quality tools and technologies of Industry 4.0. This research has a qualitative approach and is classified as exploratory with bibliographic procedures. The main conclusions reveal that the tools are still necessary in Industry 4.0, but they undergo adaptations and improvements made possible by the technological advances of Industry 4.0 and, in addition, the value that the tools continue to add to the implementation of technologies in organizations. The research presents the PDCA 4.0 Cycle, a model based on the PDCA cycle that guides how and in which tools technologies can help, seeking to support organizations in better adherence to Industry 4.0 innovations.

**Keywords:** Industry 4.0; Quality Tools; Quality Management; PDCA cycle 4.0

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>1.1</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	12
<b>1.2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	13
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	13
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	13
<b>1.3</b>	<b>ESTRUTURA DO TRABALHO</b> .....	13
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	15
<b>2.1</b>	<b>GESTÃO DA QUALIDADE</b> .....	15
<b>2.1.1</b>	<b>Ferramentas da Qualidade</b> .....	17
<b>2.1.2</b>	<b>Qualidade 4.0</b> .....	21
<b>2.2</b>	<b>INDÚSTRIA 4.0</b> .....	21
<b>2.2.1</b>	<b>Tecnologias da Indústria 4.0</b> .....	23
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	27
<b>3.1</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA</b> .....	27
<b>3.2</b>	<b>MÉTODO DA PESQUISA</b> .....	28
<b>3.2.1</b>	<b>Teoria de Enfoque Meta Analítico Consolidado</b> .....	29
<b>3.2.1</b>	<b>Pesquisa Qualitativa</b> .....	31
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES DA APLICAÇÃO DO TEMAC</b> .....	33
<b>4.1</b>	<b>PREPARAÇÃO DA PESQUISA</b> .....	33
<b>4.2</b>	<b>APRESENTAÇÃO E INTERRELAÇÃO DE DADOS</b> .....	35
<b>4.2.1</b>	<b>Áreas de pesquisa</b> .....	35
<b>4.2.2</b>	<b>Países que mais publicaram</b> .....	36
<b>4.2.3</b>	<b>Evolução temporal das publicações</b> .....	37
<b>4.2.4</b>	<b>Principais autores</b> .....	37
<b>4.2.5</b>	<b>Documentos mais citados</b> .....	38
<b>4.3</b>	<b>DETALHAMENTO</b> .....	40
<b>4.3.1</b>	<b>Cocitação</b> .....	41
<b>4.3.2</b>	<b>Acoplamento bibliográfico</b> .....	43
<b>4.3.3</b>	<b>Análise de palavras-chave</b> .....	45
<b>4.4</b>	<b>QUADROS INTEGRADORES</b> .....	46

<b>4.5</b>	<b>VALIDAÇÃO POR MEIO DE EVIDÊNCIAS – Quality Control 4.0: a way to improve the quality performance and engage shop floor operators – Projeto 1: Smart Vision</b>	<b>51</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS DA PESQUISA QUALITATIVA.....</b>	<b>55</b>
<b>5.1</b>	<b>NUVEM DE PALAVRAS .....</b>	<b>56</b>
<b>5.2</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO HIERÁRQUICA DESCENDENTE (CHD) .....</b>	<b>57</b>
<b>5.3</b>	<b>ANÁLISE FATORIAL CONFIRMATÓRIA .....</b>	<b>59</b>
<b>5.4</b>	<b>ANÁLISE DE SIMILITUDE .....</b>	<b>60</b>
<b>6</b>	<b>CICLO PDCA 4.0.....</b>	<b>62</b>
<b>6.1</b>	<b>PLANEJAMENTO (PLAN).....</b>	<b>67</b>
<b>6.1.1</b>	<b>Identificação do Problema .....</b>	<b>67</b>
<b>6.1.2</b>	<b>Análise das Causas Raiz.....</b>	<b>68</b>
<b>6.1.3</b>	<b>Análise do Processo.....</b>	<b>68</b>
<b>6.1.4</b>	<b>Criação dos Planos de Ação .....</b>	<b>69</b>
<b>6.2</b>	<b>EXECUÇÃO (DO).....</b>	<b>70</b>
<b>6.3</b>	<b>VERIFICAÇÃO (CHECK) .....</b>	<b>71</b>
<b>6.4</b>	<b>PADRONIZAÇÃO (ACT).....</b>	<b>71</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>72</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>74</b>

## Lista de Figuras

Figura 1 – Eras da Qualidade .....	16
Figura 2 - Ciclo PDCA .....	18
Figura 3 - Diagrama de Ishikawa .....	19
Figura 4 – Fluxograma .....	20
Figura 5 - Diagrama de Pareto.....	20
Figura 6 – Revoluções Industriais .....	22
Figura 7 – Tecnologias da Indústria 4.0 .....	24
Figura 8 - Classificação da Pesquisa .....	27
Figura 9 - Estrutura da Pesquisa.....	28
Figura 10 – Modelo TEMAC .....	29
Figura 11 - Esquema para entendimento de cocitação e coupling .....	31
Figura 12 – Filtros da Pesquisa .....	34
Figura 13 – Evolução Temporal dos Trabalhos.....	37
Figura 14 – Mapa de Redes Cocitação da base WoS .....	41
Figura 15 – Mapa de Redes Cocitação da base Scopus.....	42
Figura 16 - Mapa de Calor de Coupling da base WoS .....	43
Figura 17 – Mapa de Calor de Coupling da base Scopus.....	44
Figura 18 – Mapa de Redes Palavras Chave da base WoS .....	45
Figura 19 - Mapa de Redes Palavras Chave da base Scopus.....	46
Figura 20 - Ocorrência das Ferramentas da Qualidade no TEMAC .....	48
Figura 21 – Análise de Defeitos .....	52
Figura 22 - Gráfico de Pareto .....	52
Figura 23 – Diagrama de Ishikawa.....	53
Figura 24 – Nuvem de Palavras.....	56
Figura 25 – Dendrograma da Análise Fatorial Confirmatória.....	57
Figura 26 - Análise Fatorial Confirmatória .....	59
Figura 27 - Análise de Similitude.....	60
Figura 28 – Ciclo PDCA 4.0 .....	64
Figura 29 - Aplicação de Blockchain e Cloud Computing.....	65

## **Lista de Quadros**

Quadro 1 - Definições de Qualidade .....	15
Quadro 2 - Relações entre Ferramentas da Qualidade e Indústria 4.0 .....	47
Quadro 3 – Integração das Ferramentas da Qualidade com as tecnologias da Indústria 4.0....	49
Quadro 4 - Relação entre as novas tecnologias e as ferramentas da qualidade.....	62
Quadro 5 - Objetivos do Ciclo PDCA 4.0.....	66

## Lista de Tabela

Tabela 1 – Resultado Inicial das Bases de Dados .....	33
Tabela 2 – Resultado das bases de dados após filtro temporal.....	34
Tabela 3 – Áreas de Pesquisa .....	35
Tabela 4 – Resultados por Países das Bases.....	36
Tabela 5 – Publicações por autor na bases de dados WoS .....	38
Tabela 6 - Publicações por citações na bases de dados WoS .....	39
Tabela 7 - Publicações por citações na bases de dados Scopus.....	40

## Lista de siglas

I4.0	Indústria 4.0
CEP	Controle Estatísticos de Processo
Q4.0	Qualidade 4.0
IA	Inteligência Artificial
IoT	Internet das Coisas
TEMAC	Teoria de Enfoque Meta Analítico Consolidado
WoS	Web of Science
CHD	Classificação Hierárquica Descendente
AFC	Análise Fatorial Confirmatória

# 1 INTRODUÇÃO

Em um cenário de alta competitividade e globalização, a relevância da qualidade como diferencial competitivo e, até mesmo, pré-requisito para o sucesso de longo prazo da organização vem sendo amplamente difundida. As empresas utilizam a Gestão da Qualidade como apoio para aumentar a satisfação do cliente e também auxiliar na redução de gastos. Nesse contexto, a Gestão da Qualidade passa a ser um fator crucial no desenvolvimento estruturado e diferenciação da empresa frente a seus competidores.

Em paralelo a isso, a inserção da Indústria 4.0 impactou todos os setores e gerou possibilidades de transformações nos processos e produtos existentes, criando um ambiente incentivador de inovações e melhorias. A 4ª Revolução Industrial é a primeira revolução a ser percebida durante a sua transição e, devido a isso, abriu-se um leque de desafios de entendimento de como os processos organizacionais e a estrutura das empresas irão mudar frente a tantas mudanças.

Esse desafio associado à Gestão da Qualidade é enfatizado por artigos que discorrem sobre a implementação da Indústria 4.0 em meios empresariais e sobre a importância da Gestão da Qualidade, como os trabalhos de Dias, Carvalho e Sampaio e Silva Borges e Magano, sendo inclusive apresentado que as empresas que possuem ferramentas e métodos da qualidade possuem maior aderência e menor tempo de adaptação à Indústria 4.0 ((ČREŠNAR; POTOČAN; NEDELKO, 2020). Dentro dos estudos associando qualidade à Indústria 4.0 ressalta-se que a I4.0 não tira a necessidade ou relevância da Gestão da Qualidade ou de suas ferramentas, porém não existem estudos apresentando as possibilidades de relação entre as ferramentas da qualidade tradicionais com as novas tecnologias originadas na 4ª Revolução Industrial.

Entende-se que as ferramentas da qualidade seguem necessárias no contexto presente e é necessário explorar as possibilidades de aplicação dessas ferramentas junto às tecnologias da Indústria 4.0, visando entender quais as possibilidades de associação entre esses elementos e como isso pode ser benéfico para as organizações.

O presente estudo visa responder à pergunta: Como as ferramentas tradicionais da qualidade estão sendo utilizadas em empresas que são adeptas ao uso das tecnologias da Indústria 4.0?

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A Indústria 4.0 impacta em toda a sociedade, incluindo pilares digitais, físicos e econômicos (SCHWAB, 2016). O papel da Gestão da Qualidade já está mudando, porém ainda não existem estudos que apoiem na adaptação de ferramentas da qualidade, que são fundamentais para melhorias efetivas e longínquas. O meio acadêmico já possui estudo que relacionam a melhor implementação da Indústria 4.0 em empresas que possuem Gestão da Qualidade inserida em sua cultura (ČREŠNAR; POTOČAN; NEDELKO, 2020). Escobar (2021) apresenta que entre 80 e 87% dos projetos de Big Data não geram soluções sustentáveis.

Apesar do entendimento da importância e necessidade da Gestão da Qualidade na Indústria 4.0, ainda não existem estudos voltados para auxiliar nas possibilidades de aplicação dessas ferramentas, sugestão ao final do estudo de Sony (2020) para futura pesquisa.

Esse estudo apresenta uma revisão da literatura sobre a relação e os benefícios que as ferramentas da qualidade associados às novas tecnologias da Indústria 4.0 (I4.0) podem gerar. Justifica-se sua existência visando trazer maior clareza dos benefícios percebidos ao combinar ferramentas da qualidade com novas tecnologias e entendimento das formas possíveis de realizar essa combinação.

A partir de um estudo sistemático seguido de entrevistas com especialistas, são apresentadas as perspectivas existentes sobre o assunto, objetivando encontrar exemplos de associação entre ferramentas da qualidade e tecnologias da I4.0, entender quais os resultados gerados a partir dessa relação e qual o entendimento dos pesquisadores sobre o tema e sua evolução.

Por meio dessa pesquisa são apresentadas formas de aplicar ferramentas da qualidade para auxiliar a implementação de novas tecnologias de Indústria 4.0 e em quais ferramentas e como as tecnologias podem melhorar a aplicação e resultados das ferramentas da qualidade, apoiando no desenvolvimento da área e, também, apoiando na correta implementação e aproveitamento das novas tecnologias. Essas possibilidades de aplicação foram consolidadas a partir da proposição do Ciclo PDCA 4.0.

A fim de gerar insumos para a aplicação conjunta de ferramentas da qualidade e tecnologias da I4.0, define-se o objetivo geral da pesquisa e os objetivos específicos, que serão apresentados na seção 1.2.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo é analisar como a Indústria 4.0 e suas novas tecnologias impactam e apoiam a aplicação das ferramentas tradicionais da gestão da qualidade.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Visando alcançar o objetivo geral do trabalho, cumpriram-se com os seguintes objetivos específicos:

- Identificar como as ferramentas da qualidade são aplicadas no contexto da indústria 4.0;
- Levantar os benefícios que as ferramentas da qualidade podem agregar às novas tecnologias da Indústria 4.0;
- Analisar *cases* envolvendo ferramentas da qualidade e novas tecnologias da Indústria 4.0;
- Apresentar as possíveis aplicações das ferramentas da qualidade com as novas tecnologias da Indústria 4.0 por meio do Ciclo PDCA 4.0.

## 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho estrutura-se em 5 seções visando apresentar de forma objetiva e clara os conceitos e resultados obtidos com a pesquisa. A seguir, é detalhado o conteúdo presente em cada seção:

**Seção 1 – Introdução:** apresenta os aspectos gerais da pesquisa, contemplando a justificativa da pesquisa, o objetivo geral e os objetivos específicos do trabalho.

**Seção 2 – Referencial Teórico:** consiste em uma fundamentação teórica sobre os assuntos relacionados a pesquisa, visa nivelar o conhecimento do leitor acerca do tema da pesquisa e outros tópicos relevantes para o desenvolvimento e entendimento do trabalho.

**Seção 3 – Metodologia:** discorre sobre o método de pesquisa, a classificação da pesquisa (quanto a abordagem, natureza, objetivo, procedimentos e meio de coleta de dados) e apresenta a estruturação detalhada da metodologia utilizada para a revisão sistemática da literatura.

**Seção 4 – Resultados e Discussões da Aplicação do TEMAC:** apresenta os resultados obtidos com a aplicação do TEMAC, analisa as informações apresentadas e expõe a consolidação dos resultados por meio de um quadro integrador.

**Seção 5 – Resultados da Pesquisa Qualitativa:** apresenta os resultados obtidos com a aplicação de entrevistas semiestruturadas, apresenta a estruturação da pesquisa e as análises lexicais.

**Seção 6 – Ciclo PDCA 4.0:** apresenta o modelo com as propostas das relações possíveis entre as ferramentas da qualidade e as tecnologias da Indústria 4.0.

**Seção 7 – Considerações Finais:** apresenta as contribuições da pesquisa, suas limitações e as sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta as principais referências teóricas utilizadas no desenvolvimento do presente estudo.

### 2.1 GESTÃO DA QUALIDADE

O termo “qualidade” é polissêmico. Assim, para os fins deste trabalho será considerada a definição de qualidade cunhada por Deming (2018) em que a qualidade é mutável e deve ser determinada pelos fatores que melhoram o produto do ponto de vista do cliente. Porém, conforme o Quadro 1, a evolução do conceito da Qualidade é reforçada por outros autores relevantes e esse conceito segue associado à satisfação do cliente.

<b>Juran</b>	Qualidade associada a “adequação ao uso” e satisfação das necessidades dos clientes
<b>Crosby</b>	Qualidade como a conformidade com especificação, fazer certo da primeira vez
<b>Feigenbaum</b>	Qualidade como a característica do produto que proporciona a satisfação do consumidor
<b>Ishikawa</b>	Qualidade associada ao processo envolvendo o produto de forma útil e econômica associado à satisfação do consumidor.

Quadro 1 - Definições de Qualidade

Fonte: Adaptado de Toledo (2014)

Partindo desse princípio, a qualidade precisa estar em constante mudança para adequar-se às novas necessidades dos clientes, também dinâmicas. Essa definição segue alinhada com os princípios da Indústria 4.0, que tem o cliente como um de seus principais pontos focais (MAREČEK-KOLIBISKÝ; KUČEROVÁ, 2021).

A evolução da gestão da qualidade acompanhou as demandas do mercado e possui 4 eras da qualidade e indícios da 5ª Era relacionada à Indústria 4 (GARVIN, 2008). Visando melhor compreensão das Eras da Qualidade, a Figura 1 apresenta um resumo e, em seguida, são detalhadas.

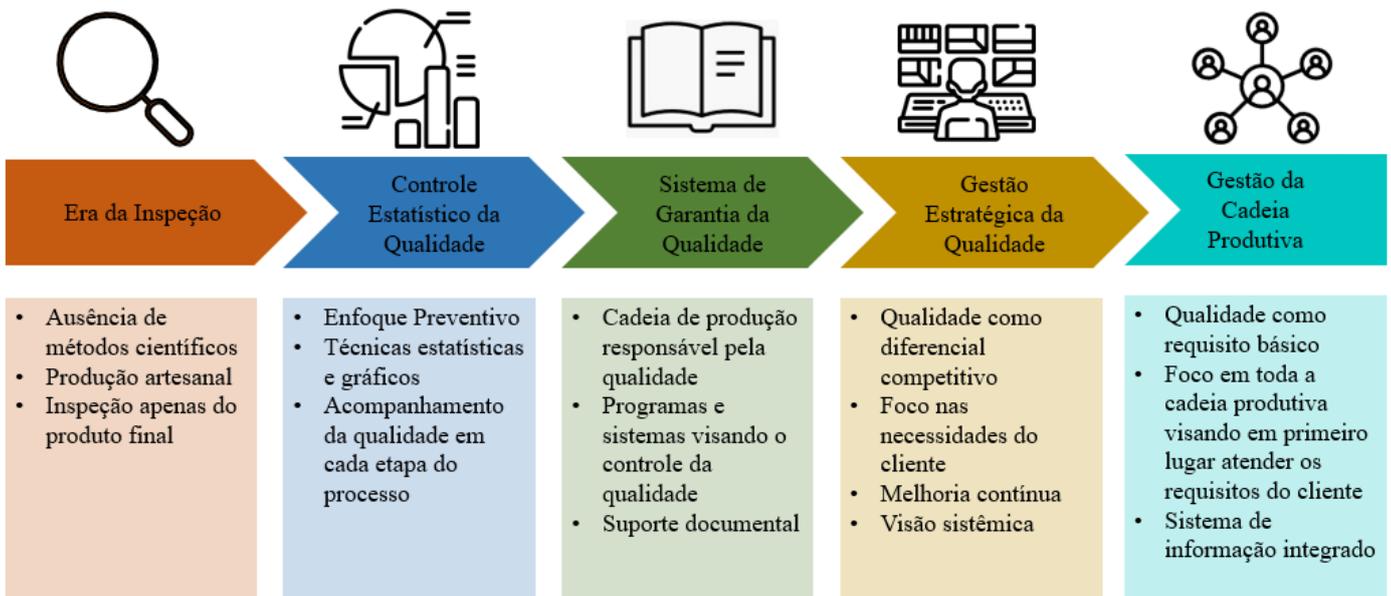


Figura 1 – Eras da Qualidade

Fonte 1: Elaborado pela autora com base em Garvin (2008)

A Era da Inspeção, vigente durante o século XVIII e início do século XX, é caracterizada pela produção artesanal, com inspeção sendo realizada em 100% dos produtos fabricado e feita com ausência de métodos científicas (GARVIN, 2008). No início do século XX iniciou-se a transição para a segunda era, chamada de Era do Controle Estatístico da Qualidade. Esse período houve o início da produção em massa, o que inviabilizou a verificação sem métodos científicos e em todos os produtos. A segunda era passa a focar no processo, com maior enfoque na prevenção de problemas e no uso de instrumento e técnicas estatísticas (CHAVES et al., 2018). Nesse momento surgem os primeiros departamentos de qualidade e os limites dos processos passam a ser estabelecidos, aumenta-se a padronização nos produtos finais.

A Era do Sistema de Garantia da Qualidade, a terceira era, iniciou na década de 50 e trouxe o foco para os programas e sistemas da qualidade. Essa era é caracterizada pela busca por garantir a qualidade em todas as etapas da produção, toda a cadeia de valor é vista como responsável por garantir a qualidade do produto. A gestão da qualidade passa a ser vista como necessária e responsabilidade de todos os setores da empresa e traz a preocupação com suporte documental para o controle da qualidade. Nesse momento conceitos como Controle Total da Qualidade, Engenharia de Confiabilidade e Programa Zero Defeitos são concebidos, seguindo na busca por prevenção de falhas e melhorias que vão além das ferramentas estatísticas (GARVIN, 2008).

A quarta era da qualidade, que ficou conhecida como Gestão Estratégica da Qualidade, surge no início da década de 80 e traz a qualidade como um diferencial competitivo e destacam-

se a visão sistêmica, os planos estratégicos e a melhoria contínua como características dessa Era. A 4ª Era reforça a importância do trabalho conjunto de todas as áreas da cadeia de valor, visando garantir a qualidade e tendo como foco principal o cliente final (CORDEIRO, 2004). A melhoria nos processos produtivos dentro das organizações é vista como frequente e contínua, feito com ferramentas específicas que devem ser utilizadas visando aumentar o desempenho e diagnosticar os problemas, as chamadas ferramentas da qualidade ((MESQUITA; ALLIPRANDINI, 2003).

Em sua definição de Eras da Qualidade, Garvin (2008) levanta elementos que podem ser indícios de uma 5ª Era da Qualidade, que traz mais enfoque para a gestão ambiental e gestão de riscos, o foco de toda a cadeia produtiva no cliente e propõe integração entre os sistemas de informação. Esses conceitos estão fortemente vinculados com a Indústria 4.0 e as transformações diretas que as novas tecnologias trazem para as organizações, porém, mesmo com o impacto dessas mudanças, a Gestão da Qualidade segue sendo aprimorada, sem o descarte das abordagens anteriores (PACHECO, 2018).

Durante a evolução da qualidade, diversas ferramentas surgiram para apoiá-la, como o Ciclo PDCA, o Diagrama de Ishikawa e as ferramentas estatísticas para o controle da qualidade. Com vistas a proporcionar uma visão melhor das ferramentas da qualidade e como elas apoiam a Gestão da Qualidade, a próxima seção apresentará alguns conceitos e ferramentas.

### **2.1.1 Ferramentas da Qualidade**

As ferramentas e métodos da qualidade surgiram na década de 50, com o propósito de definir, medir, analisar e propor soluções para os problemas ocorridos em ambientes industriais e, desde então, ampliaram-se globalmente para todos os tipos de organizações (MARIA; ABREU MAIA; MARTINS FORMIGA FERNANDES, 2017). Essas ferramentas são, dentre outros, procedimentos, gráficos numéricos e esquemas, se configurando em métodos estruturados para viabilizar a implantação da qualidade (PALADINI, 2010).

As ferramentas e métodos da qualidade são altamente eficientes para identificação de problemas, identificação das causas raízes e criação de planos de ação, porém demandam alto engajamento e troca de informação entre as partes interessadas (MATA-LIMA; UMA, 2007). Quando bem aplicadas, as ferramentas têm papel de suporte à tomada de decisão e apoio para resolução de problemas (MIGUEL, 2006), possibilidades estas que abrem amplo e completo panorama da situação avaliada, mediante a escolha correta da ferramenta, face ao problema analisado e as circunstâncias que cercam o ambiente (DIGROCCO, 2008).

Os métodos da qualidade abordados neste trabalho são:

- **Ciclo PDCA:** é uma grande contribuição para a gestão da qualidade e representa o marco do comprometimento com a melhoria contínua dentro dos processos (CERQUEIRA, 2006). O ciclo PDCA é um método de gerenciamento de sistemas e processos que tem como principal meta a melhoria contínua (LIMA et al., 2021). É dividido em quatro etapas: planejamento, execução, verificação das ações executadas e ação, esta que tem o escopo de promover melhoria por meio da padronização (CHAIB, 2005).

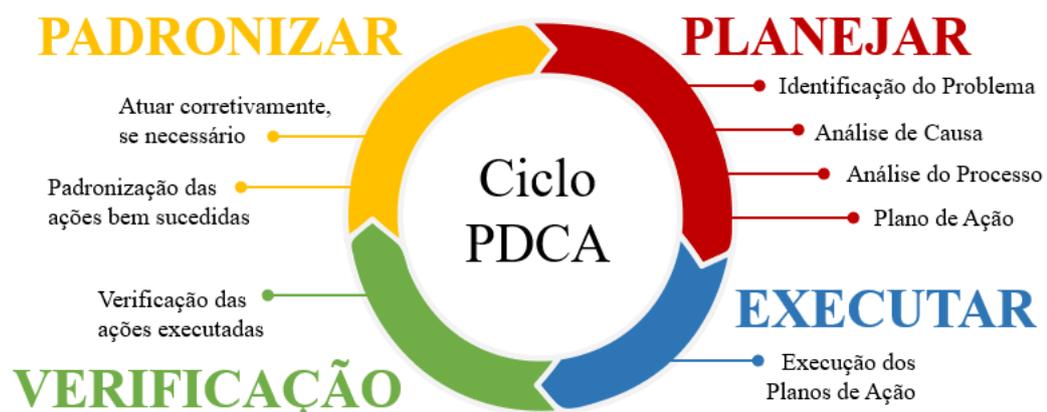


Figura 2 - Ciclo PDCA

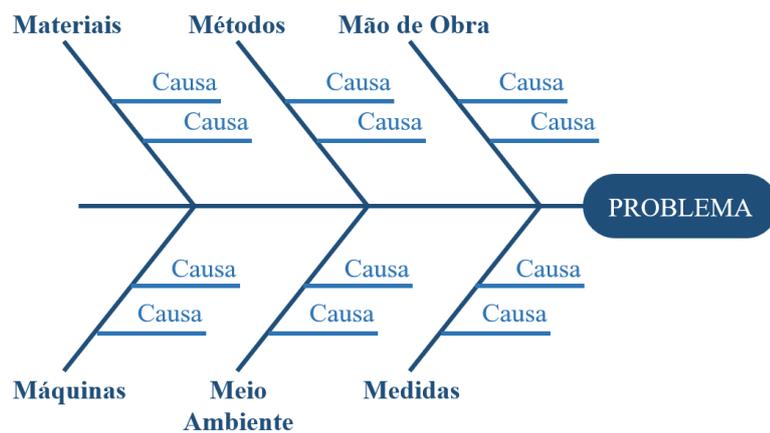
Fonte: Autor (2022)

- **Controle Estatístico de Processo (CEP):** é um conjunto de ferramentas da qualidade que propõe a estabilidade de um processo baseado em conceitos e técnicas da estatística e da engenharia de produção. Esta ferramenta intenciona promover a prevenção de defeitos por meio da mensuração e controle da variabilidade do processo (GLOBERSON; FRAMPTON, 1991). O CEP tem como etapas a definição do padrão esperado, a inspeção por amostragem e a análise dos resultados, possibilitando o diagnóstico das não conformidades em colaboração com outras ferramentas da qualidade, que buscam encontrar a causa raiz do problema ou defeito encontrado (WERKEMA, 2006). Segundo Montgomery (2004), o CEP é composto por ferramentas estatísticas, dentre elas o gráfico de controle - considerada sua principal ferramenta -, o histograma, a folha de controle, o diagrama de concentração de defeito e o diagrama de dispersão.

E as ferramentas da qualidade abordadas neste trabalho são:

- **Diagrama de Causa e Efeito:** possibilita a identificação de várias possíveis causas relacionadas às falhas no produto final, segmentando-as em seis categorias: matéria

prima, mão de obra, método, máquina, material e meio ambiente (WILLIANS, 1995). O diagrama de Ishikawa, outra nomenclatura possível, retém formato de espinha de peixe, mirando organizar o raciocínio e auxiliar na discussão durante a identificação e análise do problema. A aplicação da ferramenta consiste em listar as possibilidades que estão causando um determinado problema em um sistema, registra-las no diagrama e aloca-las por categoria, e realizar a análise, sendo necessário realizar validações das causas prováveis por meio de análise de dados e aplicação de outras ferramentas da



qualidade visando comprovar as causas fundamentais (CARLINO; JUNIOR, 2010).

Figura 3 - Diagrama de Ishikawa

Fonte: Autor (2022)

- Fluxograma: representação, por meio de símbolos e gráficos, dos passos a serem seguidos em um processo, permitindo maior facilidade na visualização e entendimento das etapas e de seu funcionamento (CAMPOS, 2013). O fluxograma permite a visão do começo ao fim do processo e almeja garantir a qualidade e aumentar a produtividade, possibilitando a identificação de gargalos e potenciais melhorias que não eram percebidas antes do mapeamento do processo (MELLO et al., 2017). O fluxograma é uma ferramenta essencial para o a aplicação do *Business Process Management* (BPM) que inclui a atividade de modelar e analisar os processos de negócios. A partir do BPM é possível promover a agilidade e o conhecimento explícito visando a formalização e automatização dos processos (MORGADO, 2021).

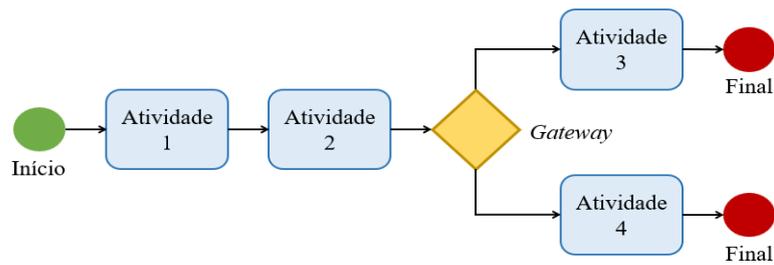


Figura 4 – Fluxograma

Fonte: Autor (2022)

- 5W2H: aspira direcionar e gerenciar ações a partir da resposta das perguntas: *What?* (O quê?), *When?* (Quando?), *Why?* (Por quê?) *Where?* (Onde?), *Who* (Quem), *How?* (Como?) e *How Much?* (Quanto?). Possibilita a estruturação do pensamento e ajuda a materializar as tarefas antes da implantação de uma solução no negócio. (BEHR; MORO; ESTABEL, 2008). A ferramenta pode apoiar em diferentes frentes da Gestão da Qualidade, orientando a investigação de um problema ou processo, formalizando a identificação do problema e de sua solução e auxiliando na criação de um plano de ação efetivo (CAMPOS, 2013).
- Gráfico de Pareto: propicia a priorização de esforços por meio de uma representação gráfica por diagrama, que destaca os elementos críticos e permite a classificação, ao organizar em categorias os problemas ou causas referidas (PALADINI, 2010). As informações são ordenadas de maneira decrescente e a linha no gráfico apresenta as porcentagens acumuladas. O Diagrama de Pareto visa determinar quais causas têm mais impacto na empresa e, conseqüentemente, têm maior urgência a serem tratadas. (WERKEMA, 2006).

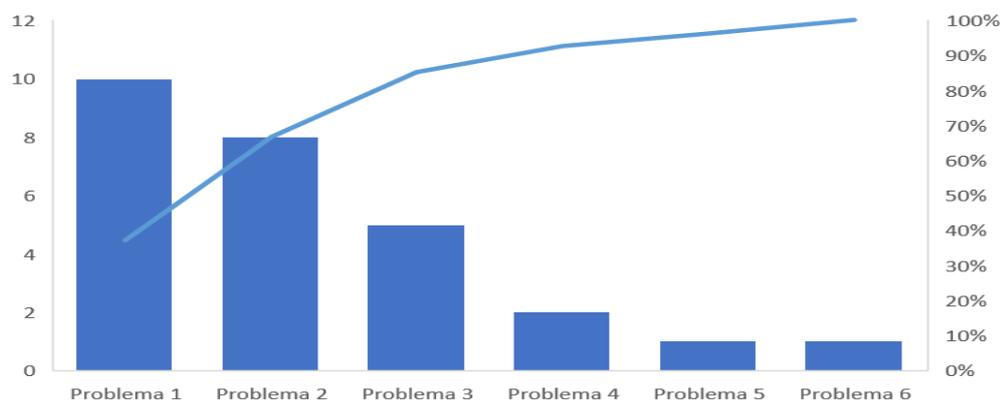


Figura 5 - Diagrama de Pareto

Fonte: Autor (2022)

A seção 2.1.2 apresentará o conceito de Qualidade 4.0, termo criado após a 4ª Era da Gestão da Qualidade e do surgimento das novas tecnologias da Indústria 4.0.

### **2.1.2 Qualidade 4.0**

A Qualidade 4.0 (Q4.0) é um termo oriundo da Indústria 4.0 e diz respeito à digitalização da qualidade, como forma de manter os conceitos e práticas de qualidade coerentes com o novo contexto (SAIHI; AWAD; BEN-DAYA, 2021). A Q4.0 é considerada como a abordagem da Indústria 4.0 que prioriza qualidade e performance considerando a interação entre as tecnologias com as melhorias do sistema (TOMIC, 2020).

Junto à disrupção criada na transformação digital, houve mudanças na mensuração e gerenciamento da qualidade que afetaram diretamente a forma como as organizações aplicam e usam conceitos da gestão da qualidade (DIAS; CARVALHO; SAMPAIO, 2021). A Qualidade 4.0 surge como o marco de uma mudança estrutural da qualidade que abre novas oportunidades diante de um cenário que toda ação pode ser monitorada, registrada e avaliada em tempo real, criando novos desafios, com geração de novas possibilidades e caminhos para resolver lacunas que a gestão da qualidade não conseguiria atuar (CARVALHO et al., 2021).

A Qualidade 4.0 trabalha com conceitos tradicionais de qualidade unidos às ferramentas digitais possibilitando alcançar os objetivos de performance e excelência (DIAS; CARVALHO; SAMPAIO, 2021). Nesse contexto, não há a substituição de ferramentas tradicionais por ferramentas digitais, antes são somados e desenvolvidos em conjunto para uma melhor gestão da qualidade (TAMBARE et al., 2021).

Chiarini (2020) consolidou os benefícios da Qualidade 4.0, entre eles estão: melhorar a qualidade e velocidade da tomada de decisão, melhorar a rastreabilidade e transparência, antecipar mudanças, possibilitar adaptação para novas circunstâncias e revelar oportunidade para melhoria contínua.

A Qualidade 4.0 é consequência direta da 4ª Revolução Industrial, que será abordada na seção 2.2 junto à evolução da indústria e suas inovações tecnológicas.

## **2.2 INDÚSTRIA 4.0**

A indústria, ao longo dos anos, passou por diversas transformações que são fundamentais para o desenvolvimento dos países. A primeira Revolução Industrial, iniciada no final do século XVIII, é caracterizada pela introdução das máquinas, gerando uma transição do trabalho manual para o trabalho mecanizado, com máquinas movidas por energia hídrica e a vapor (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019).

Em seguida, a introdução de eletricidade e da linha de montagem dá origem a segunda revolução industrial, iniciada no início do século XX, que foi caracterizada pelo

desenvolvimento da produção em massa (WERKEMA, 2006). A terceira revolução industrial, também conhecida como revolução digital, foi iniciada na década de 1970 e é marcada pelo desenvolvimento da computação e da internet, buscando automação na produção (SCHWAB, 2016).

A 4ª revolução industrial transforma os pilares físico, digital e, diferente das revoluções industriais anteriores - que foram percebidas somente após o seu acontecimento -, está sendo diagnosticada durante a sua transição (SCHWAB, 2016). O termo Indústria 4.0 foi usado pela primeira vez na Alemanha em 2011 e caracterizou o início da quarta revolução industrial que acompanha a transformação tecnológica garantindo flexibilidade e agilidade da indústria e oferecendo diversas oportunidades de crescimento e inovação nos processos (PEÇAS et al., 2021).

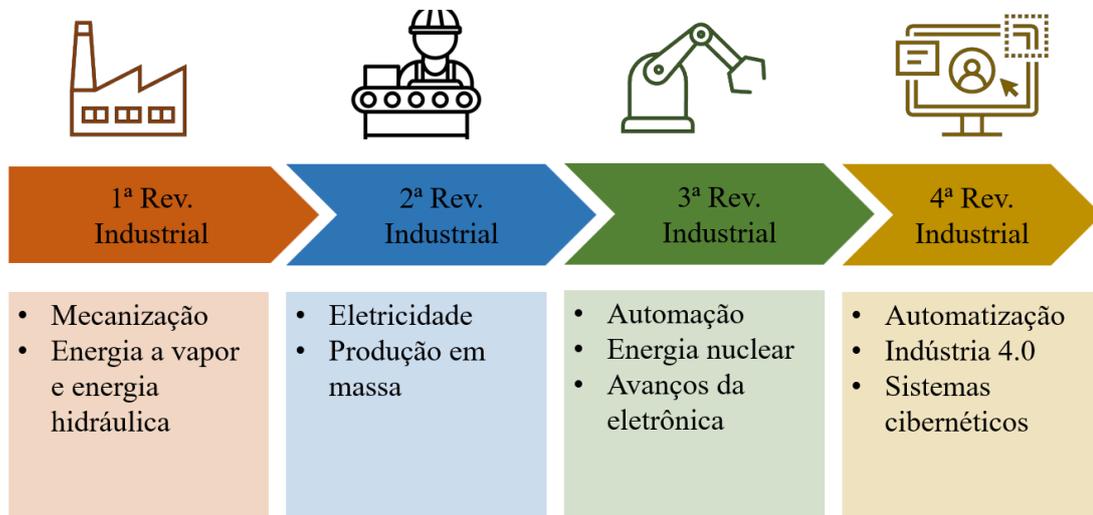


Figura 6 – Revoluções Industriais

Fonte: Autor (2022)

O termo Indústria 4.0, fruto da quarta revolução industrial vem ganhando relevância no contexto global de produtos e serviços. Entre seus princípios estão a interconexão, a transparência da informação, a descentralização das decisões e a assistência técnica, todas possibilitadas pelas novas tecnologias da Indústria 4.0 (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

Dessa forma, a Indústria 4.0 consegue integrar aos processos os avanços tecnológicos visando otimizar a produção e cadeia de suprimentos e, conseqüentemente, criar uma resposta ágil às demandas (AZEVEDO, 2017). A Indústria 4.0 tem como característica o uso de tecnologias digitais que, em conjunto, geram um fluxo altamente informatizado e com alta automação e digitalização da produção (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019).

A partir do novo contexto industrial, é demandado um ambiente estruturado e integrado para a aplicação de novas técnicas de produção, as quais passam a ser focada em sistemas

inteligentes e comunicativo, seguindo me busca da descentralização e automação (USTUNDAG; CEVIKCAN, 2018). Esse ecossistema tecnológico é possibilitado por 9 tecnologias emergentes, apoiando a 4ª Revolução Industrial na criação de sistemas de produção colaborativos e flexíveis com integrações vertical e horizontal como principais características (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019). Essas tecnologias serão objeto de aprofundamento na seção 2.2.1.

### **2.2.1 Tecnologias da Indústria 4.0**

Entre as diversas aplicações possíveis com os pilares da Indústria 4.0, para a presente pesquisa serão apresentadas as tecnologias com viés para aplicações em indústrias e negócios.

Na Indústria 4.0 os sistemas ciberfísicos, essenciais para o desenvolvimento das tecnologias, integram, vertical e horizontalmente, os processos físico e digital, com possibilidade de gerar um ambiente híbrido (ERBOZ, 2017). Esse conceito base da Indústria 4.0 reporta-se aos sistemas capazes de realizar a integração e criar ciclos de melhoria e otimização. Por meio dos sistemas será possível utilizar-se de modelagens e análises combinadas aos dados em tempo real, gerando um espaço digital fiel ao físico (AMMAR et al., 2021).

Segundo Sony (2020), a Indústria 4.0 utiliza sistemas ciberfísicos baseados em tecnologias integradoras para gerar seus desenvolvimentos. Portanto, o entendimento das tecnologias é a base para a compreensão da I4.0 e das possibilidades que ela traz. A Figura 7 apresenta as tecnologias da Indústria 4.0.

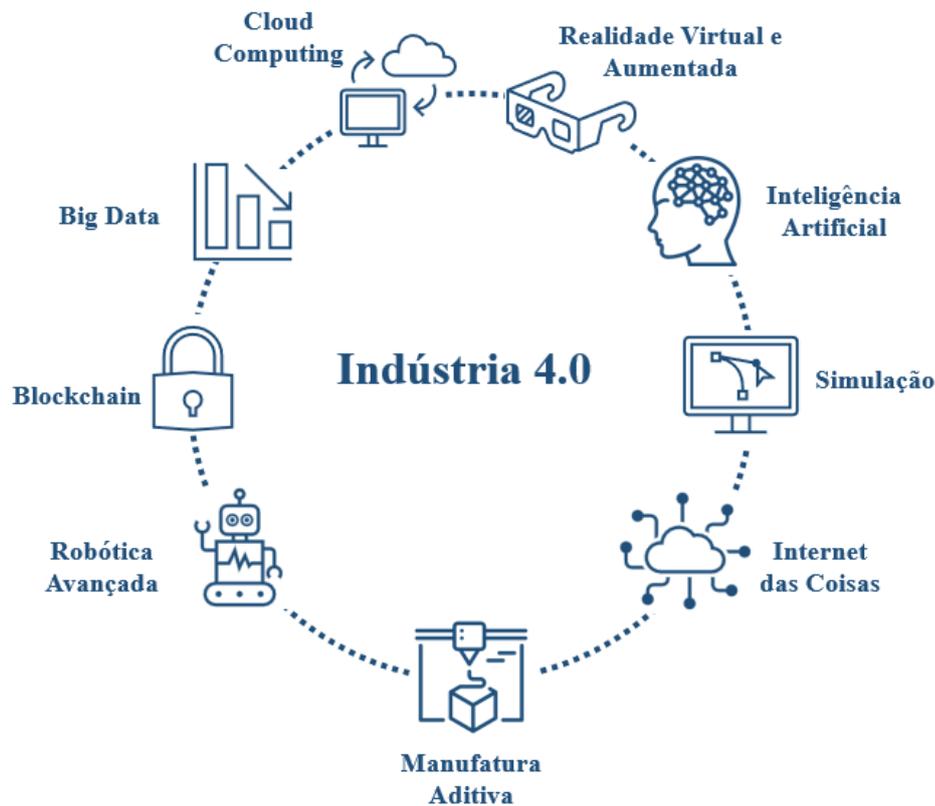


Figura 7 – Tecnologias da Indústria 4.0

Fonte: Autor (2022)

As tecnologias da I4.0 abordadas neste trabalho são:

- **Inteligência Artificial (IA)**: a habilidade das máquinas de performar, de maneira similar, ao comportamento da mente humana. Por exemplo, na recepção, no aprendizado e na resolução de problemas (SOMASUNDARAM; JUNAID; MANGADU, 2020). É considerada a pedra angular da I4.0 por ter alta aplicabilidade e presença em processos de negócios, dentre os quais se destaca, a gestão de cadeia de suprimento e logística (ASIF, 2020).
- **Simulação**: conceito que trouxe ferramentas de apoio à tomada de decisão por meio de modelos matemáticos e algoritmos que otimizam o processo. Estão inclusas na simulação os programas de realidade aumentada, a realidade virtual e a realidade assistida (PEÇAS et al., 2021). Utiliza-se dos ajustes e testagens de variáveis para criar, com agilidade, cenários possíveis e os respectivos resultados. O *Digital Twin* está entre as tecnologias que possibilitam a réplica do mundo real e posterior adaptação de dados e possibilidade. A combinação com outros elementos da Indústria 4.0, como

Inteligência Artificial e Internet das Coisas, pode gerar um sistema de otimização em tempo real das operações (ERBOZ, 2017).

- Internet das Coisas (IoT): é uma rede de objetos físicos que, por meio de sensores e dispositivos inteligentes, permite a transmissão e recebimento de dados de outros sistemas, sem a necessidade de presença física no ambiente de coleta. No contexto de indústrias, o IoT possibilita o acompanhamento e notificação em tempo real em casos de falha, permitindo a otimização de processos e reforçando a descentralização, princípios presentes na I4.0 (MOURTZIS; VLACHOU; MILAS, 2016).
- Manufatura Aditiva: popularmente conhecida como impressão 3D, essa tecnologia é comumente aplicada em etapas de prototipagem rápida e criação de ferramentas. Essa inovação possibilitou aumento na flexibilidade das máquinas, propiciando oportunidades de personalização e diminuição de estoques (PEÇAS et al., 2021). Ademais, a manufatura aditiva utiliza desenho assistido por computador (CAD) com vistas a criar estruturas complexas, fornecendo novos produtos com detalhes que não seriam possíveis com a utilização das máquinas tradicionais da indústria (AMMAR et al., 2021).
- Robótica Avançada: esse pilar é resultante da junção da inteligência artificial e outras tecnologias da Indústria 4.0 com a robótica, gerando robôs com maior autonomia (SANTOS; BARBOSA, 2015) . A robótica avançada é resultado do novo modelo de colaboração entre humanos e máquinas, sendo um dos principais pilares para a quarta revolução industrial (SCHWAB, 2016).
- *Blockchain*: a tecnologia mais recente, dentre as citadas anteriormente, consiste em um banco de dados distribuídos de maneira transparente, descentralizada e segura, que possibilita transições diretas entre os envolvidos e garante a segurança por meio de criptografia (YAN et al., 2017).
- *Big Data*: com o aumento exponencial de dados ao longo do tempo, surge a necessidade de mineração, armazenamento e visualização dos dados, o que torna imprescindível a aplicação na I4.0. O *Big Data* garante a habilidade de conduzir de forma rápida e eficiente o gerenciamento de uma base de dados em constante crescimento (AMMAR et al., 2021). No conceito de *Big Data* relaciona-se não apenas o grande volume de dados, mas ainda as tecnologias que possibilitam a mineração e análise desses dados (BIBBY; DEHE, 2018).

- *Cloud Computing*: é um conceito amplamente usado na Indústria 4.0 e relaciona-se a serviços de tecnologia possibilitados e acessíveis por meio de uma rede, incluindo casos de armazenamento de grandes volumes de dados (PEÇAS et al., 2021). A computação em nuvem é essencial para a integração, gerenciamento e administração haja vista sua flexibilidade em atender diversos usuários em plataformas compartilhadas. Há 3 modelos possíveis para a nuvem: *Software as a Service (SaaS)*, *Platform as a Service (PaaS)* e *Infrastructure as a Service (IaaS)* (ERBOZ, 2017).
- Realidade virtual e aumentada: permite a visualização e simulação de situações que estão fora do alcance físico. Por meio de dados e programação são criadas visões envolvendo informações virtuais que podem estar somadas a visões em tempo real (CARMIGNIANI; FURHT, 2011) Ainda é uma tecnologia pouco desenvolvida, porém já percebe-se um grande valor gerado em atividade operacionais, como processos de montagem, manutenção e logística (NARULA et al., 2020).

A partir dos temas expostos anteriormente, criou-se clareza e embasamento para dar prosseguimento ao estudo. A seção 3 aborda o método e estruturação da presente pesquisa.

### 3 METODOLOGIA

Nesta seção serão apresentadas a classificação do método utilizado para pesquisa e em seguida a estrutura da investigação, com o intuito de alcançar os objetivos citados anteriormente.

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Há diversas formas de se classificar uma pesquisa. Primeiramente, a pesquisa pode ser classificada quanto a sua natureza como **básica**, ou seja, que almeja gerar novos conhecimentos úteis para o avanço da ciência, sem aplicação prática imediata. (SILVEIRA; CÓRDOVA, 2009). Quanto a sua abordagem, o estudo é classificado como **qualitativo**, quando não se interessa pela representatividade numérica, mas concentra-se nos aspectos que exigem compreensão textual. Tal perspectiva de análise conduz à ausência de quantificação, centrando-se na compreensão e explicação (MINAYO, 2012). Portanto, a pesquisa qualitativa terá por características a descrição e a análise subjetiva dos dados, em busca de entender seus significados dentro de seu contexto (HEYINK; TYMSTRA, 1993).

A pesquisa pode também ser classificada como exploratório, no que tange o seu objetivo, pois tem por escopo aprimorar, esclarecer, modificar e descobrir conceitos e ideias, proporcionando maior familiaridade com o tema e com vistas a construir hipóteses e formulações mais explícitas e precisas (GIL, 2002).

Por fim, a estratégia de pesquisa no desenvolvimento desse trabalho é classificada como pesquisa bibliográfica. Segundo FONSECA (2002), este tipo de exame é feito a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas e publicadas em livros, artigos científicos, páginas de *web*, sites eletrônicos e outros. Classifica-se como pesquisa estratégica, pois nela o pesquisador tem em mente a possibilidade de produzir um conhecimento útil que possa ser, eventualmente, utilizado em estudos práticos.

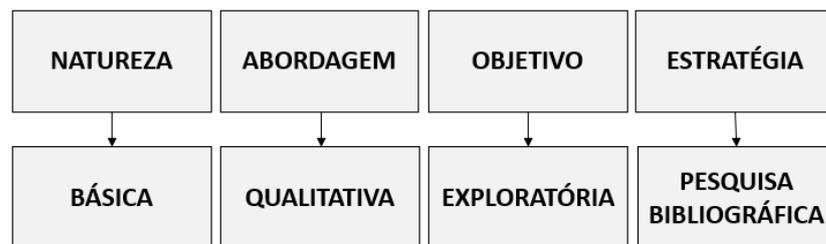


Figura 8 - Classificação da Pesquisa

Fonte: Autor (2022)

### 3.2 MÉTODO DA PESQUISA

O presente trabalho foi dividido em 3 etapas: a- o levantamento sistêmico da literatura, por meio da Teoria de Enfoque Meta Analítico Consolidado; b- o desenvolvimento e a aplicação de pesquisas qualitativas; e c- a análise de aplicabilidade das proposições desenvolvidas ao longo do trabalho, por meio da análise de estudos de caso. A Figura 9 resume as etapas desenvolvidas.

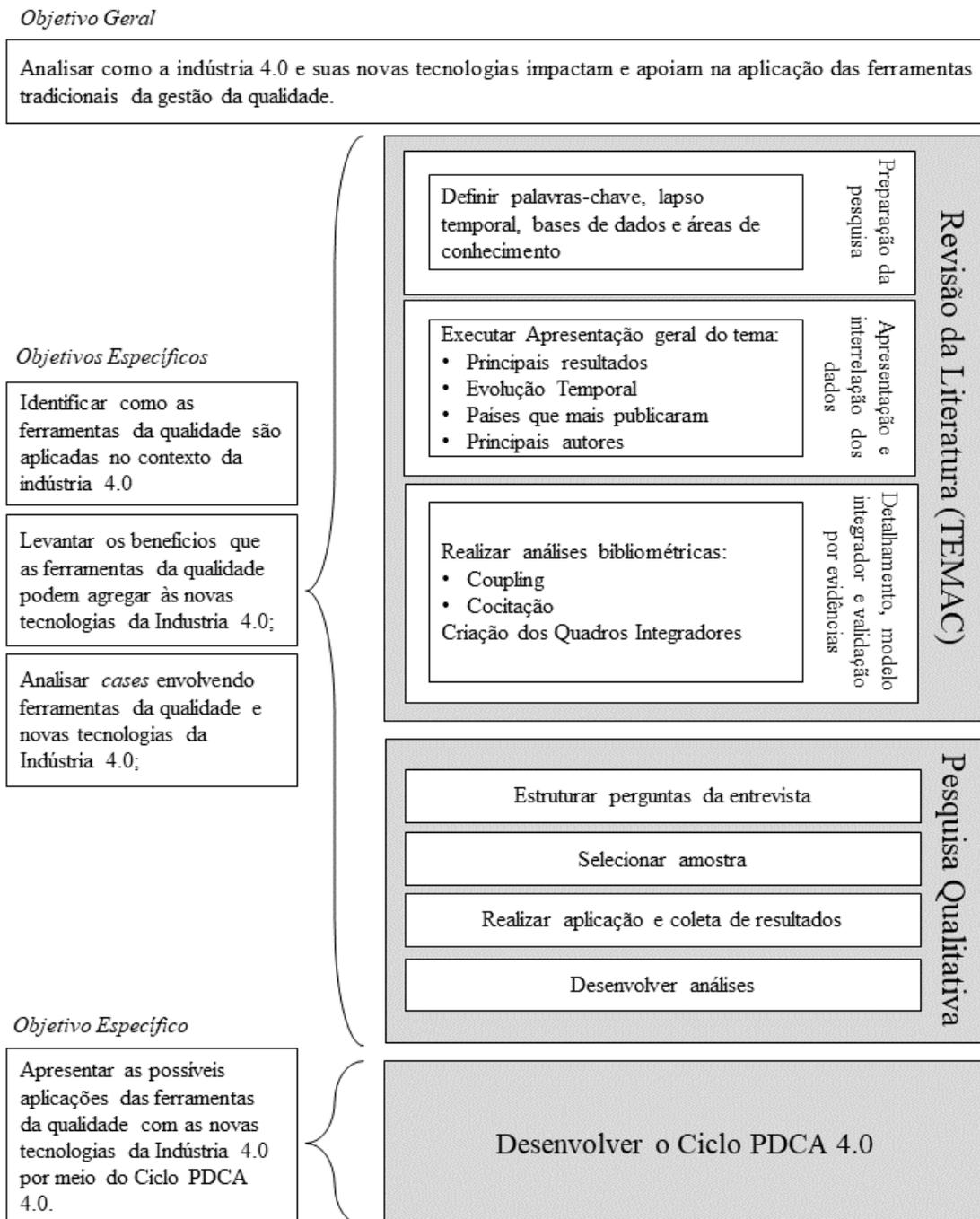


Figura 9 - Estrutura da Pesquisa

Fonte - Autor (2022)

### 3.2.1 Teoria de Enfoque Meta Analítico Consolidado

Para esta pesquisa foi utilizada a Teoria de Enfoque Meta Analítico Consolidado (TEMAC), desenvolvida por Melo Mariano e Rocha Santos (2017). O TEMAC é um método de revisão sistemática integrador alinhada aos atributos considerados importantes: precisão, robustez, validade, funcionamento, tempo e custos (ABRAMO; D'ANGELO; DI COSTA, 2009). Considerou-se o TEMAC ideal para o desenvolvimento deste trabalho, pois possibilita o uso de mais de uma base de dados e análises adicionais por meio de programas informáticos, gerando um método que apoia a interação entre diferentes bases de dados e pesquisadores.

O TEMAC é composto por 3 Etapas, conforme a Figura 10.

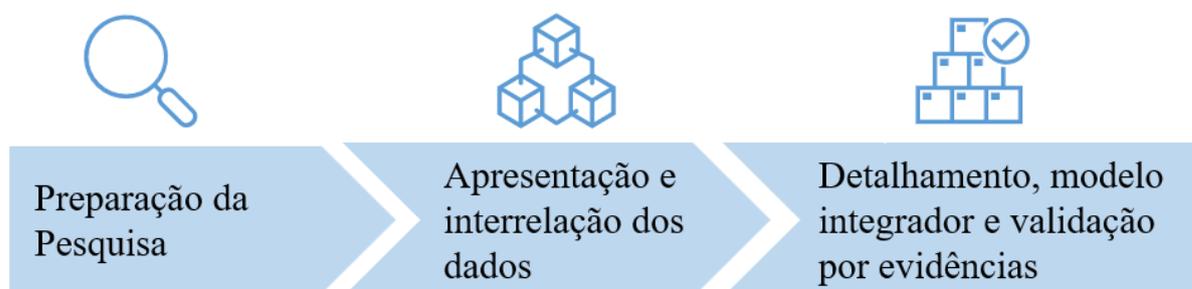


Figura 10 – Modelo TEMAC  
Fonte –Adaptada de Melo Mariano e Rocha Santos (2017)

As etapas do método de pesquisa serão explicadas nas seções a seguir.

#### 3.2.1.1 Etapa 1 – Preparação da pesquisa

De início, é necessário determinar as palavras-chave, o campo espaço-tempo, as bases de dados que serão utilizadas e as áreas de conhecimento envolvidas na pesquisa. Esta etapa prévia é de extrema importância, pois determina quais resultados serão analisados, mesmo porque a definição correta da palavra de busca é considerada um fator que pode alterar os resultados encontrados (MELO MARIANO; ROCHA SANTOS, 2017).

O objetivo aqui é garantir uma boa estrutura de pesquisa, que permitirá a apresentação e análise dos dados. As primeiras análises esperadas serão apresentadas na seção 3.2.1.2.

#### 3.2.1.2 Etapa 2 – Apresentação e interrelação dos dados

Após o preparo da pesquisa, há a etapa de apresentação e interrelação dos dados, cujo o objetivo é relacionar os dados com conceitos importantes e apresentar a evolução do tema. Nesta etapa da pesquisa fica a critério do pesquisador quais dados serão apresentados, porém

os mais frequentes, e conseqüentemente mais esperados, são: análise de autores que mais publicaram, evolução do tema ano a ano, documentos mais citados, países que mais publicam e áreas com mais publicações. Os resultados desta etapa possibilitam argumentos para interrelacionar dados e criar possibilidades de filtros, gerando um resultado robusto da literatura (MELO MARIANO; ROCHA SANTOS, 2017a).

A partir dos dados encontrados, desenvolve-se outras análises e o quadro integrador para, posteriormente, validar as ideias desenvolvidas.

### **3.2.1.3 Etapa 3 – Detalhamento, quadro integrador e uma validação por evidências**

A última etapa do TEMAC busca, por meio das impressões iniciais construídas na 2ª etapa, construir análises mais profundas que permitam maior compreensão do tema, o que inclui a possibilidade de selecionar os autores mais relevantes, as principais linhas de pesquisa e a entrega de um quadro integrador a partir das comparações de diferentes resultados. Nesta etapa, requer-se novos índices bibliográficos.

Nessa etapa, na identificação das relações entre autores e referências, a presente pesquisa optou por realizar análises de cocitação e *coupling*. Estes dois métodos permitem conhecer as relações estruturais de conectividade teórico-metodológica de um domínio, a proximidade, a associação e a interlocução estabelecida entre documentos e pesquisadores reconhecidos pela comunidade científica (MELO MARIANO; ROCHA SANTOS, 2017).

Entende-se cocitação como a busca de relacionar artigos e avaliar trabalhos citados simultaneamente em determinados estudos, as ligações entre os trabalhos podem crescer com o tempo, pois sua conexão é definida pela comunidade científica (SMALL; SWEENEY, 1985). Quanto maior o número de trabalhos citados por artigos, ou seja, quanto maior a intensidade da cocitação, maior será a chance de relação entre os conteúdos em questão (GRÁCIO, 2016).

Para complementar a presente análise, utilizou-se também o *coupling*, ou acoplamento bibliográfico, que considera o número de referências em comum entre dois artigos como a medida de similaridade entre eles. O *coupling* pressupõe ordem diretamente proporcional no número de bibliografia à conexão entre os trabalhos. Segundo Cobo (2012), a cocitação possibilita a identificação de principais abordagens históricas, enquanto o *coupling* apresenta as principais e atuais frentes de pesquisa.

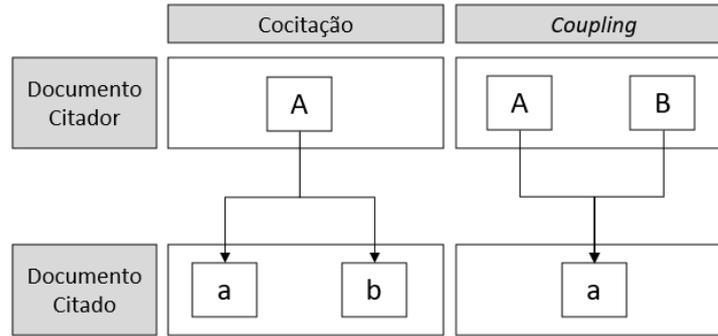


Figura 11 - Esquema para entendimento de cocitação e coupling

Fonte - Small (2012) - Adaptado

Concluídos todos os passos citados, poderá ser realizada a comparação entre as bases de dados, que uma vez compiladas resultarão em descobertas que serão traduzidas no quadro integrador (MELO MARIANO; ROCHA SANTOS, 2017).

Em seguida surge a necessidade da validação dos resultados com especialistas no tema, com vistas a validar as contribuições oriundas das perspectivas surgidas ao longo da revisão da literatura, conforme será apresentado na seção 3.2.2.

### 3.2.1 Pesquisa Qualitativa

Considerando o caráter exploratório dessa pesquisa, optou-se por uma pesquisa qualitativa. Haja vista que os temas explorados são pouco conhecidos, as pesquisas qualitativas podem possibilitar maior flexibilidade e planejamento pouco estruturado (GIL, 2008).

Segundo Vieira (2009), pesquisa qualitativa é:

“Na pesquisa qualitativa, o(a) pesquisador(a) buscar, basicamente, levantar as opiniões, as crenças, o significado das coisas nas palavras dos participantes da pesquisa. Para isso, procura interagir com as pessoas mantendo a neutralidade. A pesquisa qualitativa não é generalizável, mas exploratória, no sentido de buscar conhecimento para uma questão sobre a qual as informações disponíveis são, ainda, insuficientes.” (Vieira, 2009, pag. 5).

Entre as possibilidades de pesquisa qualitativa, a entrevista é um caminho que pode ser traçado como procedimento único ou auxiliar para a coleta de dados (BOGDAN; BIKLEN, 1994). No presente trabalho optou-se por iniciar uma revisão sistemática de literatura e, em sequência, aplicar entrevistas para aprofundar o assunto e validar os resultados encontrados.

Durante o planejamento da pesquisa qualitativa, a formulação do problema e definição dos objetivos formam, respectivamente, o objetivo e a justificativa da pesquisa.

A etapa seguinte do planejamento foi a seleção da amostra, em que ocorre a definição das pessoas a serem entrevistadas. Como a amostragem probabilística não é o objetivo da pesquisa qualitativa, existem outras modalidades que podem ser usadas (GIL, 2009). Para a

presente pesquisa, a modalidade escolhida foi a amostragem de informantes-chave, que é constituída por pessoas que estão dispostas a compartilhar conhecimento específicos e são importantes para obtenção de questões especializadas (YUAN et al., 2012).

Procurou-se profissionais com conhecimento em gestão da qualidade e indústria 4.0 que tivessem, no mínimo, uma publicação científica em periódico especializado ou em sítios eletrônicos reputados relevantes, como Câmara 4.0 e SENAI.

Após esta definição da amostragem da pesquisa, desenvolveu-se as perguntas orientadoras para a entrevista. Optou-se por entrevistas semiestruturadas, com questões abertas em que o respondente é livre para falar sobre o tema (GIL, 2008). Nesse caso, as questões abertas são consideradas ideal para a pesquisa pois possibilitam o levantamento de informações inesperadas e são recomendadas para auxiliar em novas pesquisas (VIEIRA, 2009).

As perguntas deste estudo foram desenvolvidas tendo por paradigma os objetivos geral e específico da pesquisa, bem como nos resultados encontrados no TEMAC.

Após essa etapa, reputa-se concluída a etapa de planejamento, iniciando-se a etapa de aplicação. Na aplicação das entrevistas foi solicitada a permissão para gravação das respostas, que posteriormente foram transcritas e analisadas com apoio do software IRaMuTeQ. O software IRaMuTeQ é um programa gratuito e *open source* que tem por objetivo a realização de análises estatísticas sobre dados textuais, possibilitando análise de similitude, classificação hierárquica descendente, pesquisa de especificidades e análise fatorial confirmatória.

Antes da criação das análises do texto, houve a etapa de preparação do *Corpus Textual*. Iniciou-se com a junção das entrevistas para um mesmo arquivo e a separação dos textos por meio de linhas de comando, possibilitando a diferenciação do software entre cada entrevista. Em seguida, houve a preparação dos textos, visando uniformizar o Corpus Textual para a análise. Nessa etapa foi feita a retiradas dos acentos, o ajuste das siglas e de termos específicos e a adaptação dos verbos na forma de próclise para a ênclise.

Por fim, realizou-se uma revisão dos textos visando tirar possíveis erros de digitação ou vícios de linguagem, que poderiam alterar os resultados da pesquisa. Nessa última etapa também são adaptadas as palavras compostas, substituindo o hífen ( - ) por subtraço ( \_ ) e adicionando o subtraço em termos compostos, essa etapa é necessária pois o software não reconhece aspas ou hífen em sua leitura. Após a estruturação do texto, inseriu-se o Corpus textual no software Iramuteq e iniciou-se o processamento dos textos.

Ao final dessa etapa, utilizou-se dos insumos gerados por ambas frentes de pesquisa para gerar o Ciclo PDCA 4.0, modelo proposto para a aplicação das ferramentas da qualidade junto às tecnologias da I4.0.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES DA APLICAÇÃO DO TEMAC

Essa seção busca apresentar a preparação, as etapas e os resultados da pesquisa.

### 4.1 PREPARAÇÃO DA PESQUISA

Em uma era da informação que produz um número cada vez maior de publicações, identificar a pesquisa relevante e suas interconexões tornou-se uma tarefa cada vez mais desafiadora e valiosa (GIL, 2008). Sendo assim, o primeiro passo para garantir uma revisão da literatura com qualidade é o preparo para a pesquisa e a atenção para garantir dados coerentes com o contexto.

Entende-se que a seleção de uma base que alcance os artigos que fazem sentido para a sua pesquisa é a primeira etapa e uma etapa fundamental para o bom desenvolvimento da pesquisa. Buscando maior volume de matérias aderentes ao conteúdo foram selecionadas duas bases de dados, o *Web of Science* (WoS) e o *Scopus* (MELO MARIANO; ROCHA SANTOS, 2017 apud LOPES; COSTA; FERNANDEZ-LLIMÓS; AMANTE; LOPES, 2012).

Iniciou-se a pesquisa com palavras chaves relacionadas ao tema de qualidade e indústria 4.0. Percebeu-se que esses resultados englobam diversos temas e possibilidades de estudo e, visando refinar a pesquisa, realizou-se teste com novas combinações, buscando um enfoque maior em aplicações ou referências a gerenciamento da qualidade e métodos ou ferramentas relacionadas a qualidade. A Tabela 1 apresenta as primeiras buscas realizadas em ambas as bases.

Palavras-Chave	Base De Dados	
	WoS	Scopus
<i>“quality 4.0” or (“quality” and “industry 4.0”)</i>	2231	2793
<i>“quality 4.0” or ((“quality management” or “quality control”) and “industry 4.0”)</i>	362	628
<i>(“industry 4.0” and “quality management”) or (“quality 4.0” and (“methods” or “quality management” or “quality control”))</i>	189	243

Tabela 1 – Resultado Inicial das Bases de Dados

Fonte: Autor (2022)

Ao considerar o contexto da Indústria 4.0 e as constantes mudanças que a cercam, optou-se por filtrar por espaço tempo e por área de conhecimento. Os valores exibidos na Tabela 2 são resultantes de um filtro temporal de 4 anos, incluindo os anos de 2018 à 2022, e restringindo às áreas de conhecimento de “Business” ou “Engineering”.

Palavras-Chave	Base De Dados	
	WoS	Scopus
<i>“quality 4.0” or (“quality” and “industry 4.0”)</i>	2035	2555
<i>“quality 4.0” or ((“quality management” or “quality control”) and “industry 4.0”)</i>	224	548
<i>(“industry 4.0” and “quality management”) or (“quality 4.0” and (“methods” or “quality management” or “quality control”))</i>	120	164

Tabela 2 – Resultado das bases de dados após filtro temporal

Fonte: Autor (2022)

Por fim, foi aplicado um critério de inclusão para os artigos restantes, os critérios determinados foram:

- Abordar métodos ou ferramentas da qualidade
- Abordar indústria 4.0 ou qualidade 4.0

A Figura 12 apresenta a evolução do refinamento dos resultados obtidos.

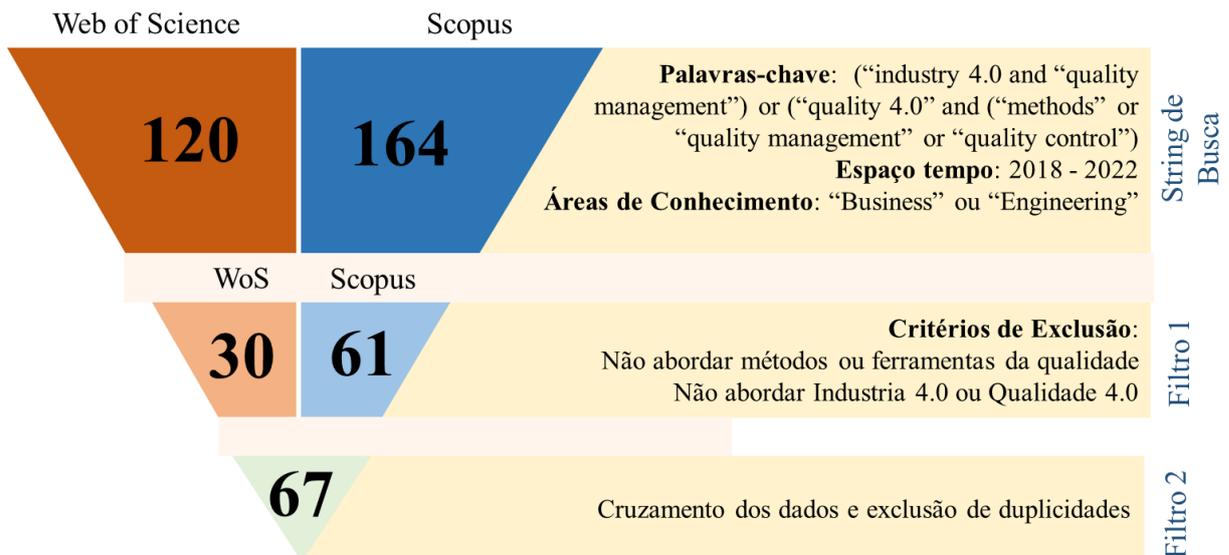


Figura 12 – Filtros da Pesquisa

Fonte: Autor (2022)

Após a remoção das duplicatas, sobraram 67 artigos selecionados, que foram a base para as análises e, em seguida, criação do quadro integrador.

## 4.2 APRESENTAÇÃO E INTERRELAÇÃO DE DADOS

Essa etapa é iniciada com análises como áreas de pesquisa mais relevantes, os países que mais publicaram, a evolução temporal das publicações, os principais autores a publicar sobre o tema e outras. Os tópicos a seguir apresentam os resultados relativos a essas análises.

### 4.2.1 Áreas de pesquisa

Apesar as bases possuírem algumas divergências na nomenclatura, percebe-se que há semelhança entre as principais áreas. Percebe-se sinergias entre os temas, com diversas áreas aparecendo em ambas as bases. Entre as 10 áreas mais publicadas estão: Ciência da Computação, Química, Energia, Economia e outras áreas relacionadas a operações e informática, que também são áreas com grande presença de novas tecnologias. A Tabela 3 consolida as 10 áreas com mais publicações das duas bases de dados.

Web of Science		Scopus	
Área De Pesquisa	Nº de publicações	Área De Pesquisa	Nº de publicações
Business Economics	17	Business, Management And Accounting	31
Engineering	13	Engineering	29
Computer Science	5	Decision Sciences	22
Chemistry	2	Computer Science	15
Operations Research Management Science	2	Social Sciences	7
Information Science Library Science	1	Energy	4
Instruments Instrumentation	1	Economics, Econometrics And Finance	3
Materials Science	1	Mathematics	3
Mathematics	1	Environmental Science	2
Medical Informatics	1	Materials Science	2

Tabela 3 – Áreas de Pesquisa

Fonte: Autor (2022)

Analisando a Tabela 3, a área de negócios e gerenciamento tem mais publicações que a Engenharia, que está em segundo lugar no número de publicações. Isso mostra que apesar da Indústria 4.0 ter maior presença em setores industriais, a Qualidade 4.0 é mais relacionada a um campo de negócios, inclusive por entender-se a qualidade como uma ferramenta para a competitividade e encontrar aplicabilidade em serviços.

#### 4.2.2 Países que mais publicaram

Nos países com maior número de publicações observar-se a dominância de publicações em países da união europeia, padrão semelhante em ambas as bases de dados, *Scopus* e *Web of Science*. Em ambas as bases o Brasil se encontra abaixo dos 5 maiores publicadores, porém presente no ranking dos 10 países que mais publicaram nos últimos 4 anos, dentre os artigos da presente pesquisa. Esse resultado mostra um cenário com demanda de novas pesquisas, porém que já está buscando desenvolvimento em diversos aspectos da Indústria 4.0 e da Gestão da Qualidade. A Tabela 4 apresenta os resultados encontrados.

Web of Science		Scopus	
País	Nº de Publicações	País	Nº de Publicações
República Tcheca	5	Portugal	5
China	4	Reino Unido	5
Hungria	3	Estados Unidos	5
India	3	Itália	3
Portugal	3	Malásia	3
Estados Unidos	3	Namíbia	3
Brasil	2	Poland	3
Inglaterra	2	Brasil	2
Itália	2	República Tcheca	2
México	2	França	2

Tabela 4 – Resultados por Países das Bases

Fonte: Autor (2022)

Entre os artigos brasileiros, encontram-se 3 universidades, essas são: Universidade Federal de Santa Catarina, Universidade Federal de Tecnologias (Paraná, Ponta Grossa) e Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Entre essas, a UFTPR é a única que possui 2 publicações sobre o tema. Entre esses estudos, ressalta-se a pesquisa de Tortorella, da Silva e

Vargas (2018), que apresenta uma análise empírica reforçando o realce dos efeitos da I4.0 em empresas brasileiras que já possuem a Gestão da Qualidade Total implementadas.

### 4.2.3 Evolução temporal das publicações

Ao analisar a evolução da quantidade de publicações busca-se entender a evolução do tema ao longo dos anos. Assim, percebe-se que o primeiro ano contendo alguma publicação sobre o tema na base *Web of Science* foi em 2019 enquanto na base *Scopus* já havia publicações desde 2018. O ano com maior publicação até o momento foi em 2021, com 29 publicações acerca do tema.

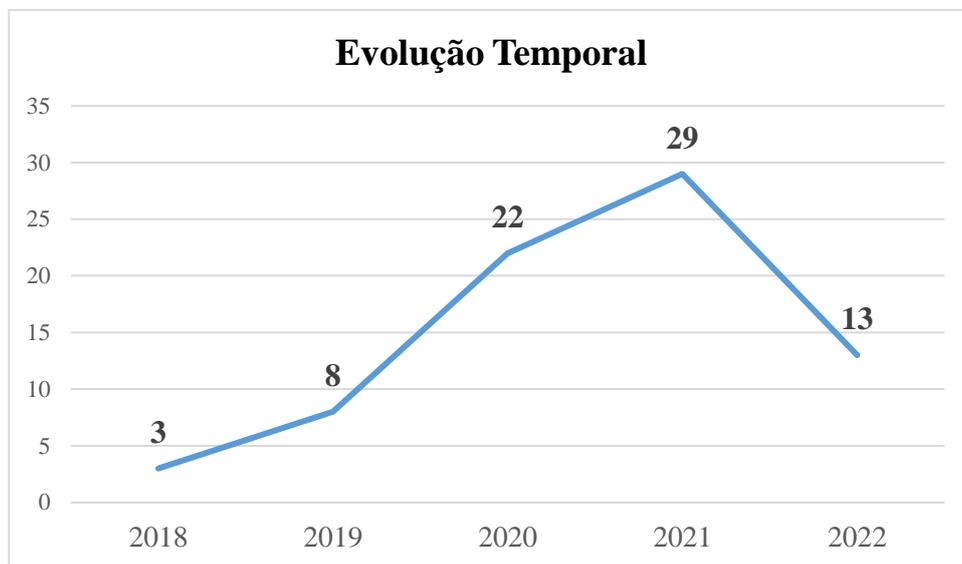


Figura 13 – Evolução Temporal dos Trabalhos

Fonte: Autor (2022)

Ressalta-se que o ano de 2022 ainda está em curso na elaboração do presente trabalho, fato que explica a queda da tendência de aumento de trabalhos que vem seguindo nos últimos anos. Percebe-se que entre 2019 e 2020 houve um salto no número de publicações acerca do tema e, em seguida, 2021 teve o maior número de publicações históricas. A evolução crescente do volume de trabalhos apoia a relevância do presente estudo.

### 4.2.4 Principais autores

Ainda não existe um autor referência no assunto, como é possível analisar nas Tabela 5, poucos autores têm mais de 1 artigo relacionado ao tema. Isso se dá, pois, a maior parte dos artigos que cita as ferramentas da qualidade as utiliza com foco na problemática a ser solucionada e possui viés no contexto da Indústria 4.0 ou da Qualidade 4.0 de forma geral, sem enfoque nas ferramentas.

Web of Science		Scopus	
Autores	Nº de Publicações	Autor	Nº de Publicações
Abonyi J	2	Antony J.	3
Ruppert T	2	Sony M.	3
Awad M	1	Chiarini A.	2
Ben-Daya M	1	Johl S.K.	2
Borges Af	1	Mcdermott O.	2
Bottani E	1	Rebentisch E.	2
Brodav Ee	1	Sampaio P.	2
Cabinova V	1	Aichouni M.	1
Carvalho A. M.	1	Al-Homaid T.	1

Tabela 5 – Publicações por autor na bases de dados WoS

Fonte: Autor (2022)

Pode-se deprender desses trabalhos que os autores com mais de um trabalho tem escritas mais teóricas, que envolvem por vezes ferramentas da qualidade, porém os autores que possuem somente um artigo têm trabalhos que pontuam as ferramentas da qualidade como um apoio para a Indústria 4.0, porém não são materiais focados nesse tema. Entre os autores apresentados na Tabela 5, os autores que mais contribuíram para o desenvolvimento da pesquisa são Sony M., Chiarini A., Sampaio P. e Carvalho A.

#### 4.2.5 Documentos mais citados

Ao final da etapa da apresentação e interrelação de dados, houve a avaliação dos 10 artigos mais citados em cada base. Ao avaliar a Tabela 6, que apresenta os artigos mais citados da base WoS. Os estudos tratam majoritariamente de estudos da literatura e têm objetivo de entender a Gestão da Qualidade na Indústria 4.0.

Título	Autores	Citações
Quality management in the 21st century enterprises: Research pathway towards Industry 4.0	Gunasekaran, A.	57
Quality 4.0-the challenging future of quality engineering	Zonnenshain, A.	41
The New EFQM Model: What is Really New and Could Be Considered as a Suitable Tool with Respect to Quality 4.0 Concept?	Nenadal, J.	20

Tabela 6 – Publicações por citações na bases de dados WoS

Fonte: Autor (2022)

Continuação

<b>Título</b>	<b>Autores</b>	<b>Citações</b>
Integration of real-time locating systems into digital twins	Ruppert, T.	16
Quality 4.0: a review of big data challenges in manufacturing	Escobar, C.	13
Statistical Process Control with Intelligence Based on the Deep Learning Model	Zan, T.	12
Total Quality Management and Quality Circles in the Digital Lean Manufacturing World	Romero, D.	9
Quality 4.0: An Overview	Carvalho, A.	8
The new concept of quality in the digital era: a human resource empowerment perspective	Jamkhaneh, H.	4
A review of quality 4.0: definitions, features, technologies, applications, and challenges	Sader, S.	4

Tabela 6- Publicações por citações na bases de dados WoS

Fonte: Autor (2022)

Ao comparar com a Tabela 7, que apresenta a base de dados do Scopus, há uma grande semelhança entre os principais artigos e existe, também, autores que são citados em ambos, porém com trabalhos diferentes como referência. Percebe-se que, em ambas as bases, os principais artigos citados são relacionados a trabalhos conceituais que apoiam na construção de estudos de casos.

<b>Título</b>	<b>Autores</b>	<b>Citações</b>
Quality management in the 21st century enterprises: Research pathway towards Industry 4.0	Gunasekaran A.	88
Essential ingredients for the implementation of Quality 4.0: A narrative review of literature and future directions for research	Sony M.	52
Industry 4.0, quality management and TQM world. A systematic literature review and a proposed agenda for further research	Chiarini A.	48

Tabela 6 – Publicações por citações na bases de dados WoS

Fonte: Autor (2022)

Continuação

<b>Título</b>	<b>Autores</b>	<b>Citações</b>
Are QM models aligned with Industry 4.0? A perspective on current practices	Asif M.	31
Industry 4.0 as a key enabler toward successful implementation of total quality management practices	Sader S.	22
Quality 4.0: a review of big data challenges in manufacturing	Escobar C.A.	16
Integration of Quality Management and Digital Technologies	Aleksandrova S.V.	16
Mapping the implications and competencies for Industry 4.0 to hard and soft total quality management	Babatunde O.K.	14
On Quality 4.0 in project-based industries	Emblemsvåg J.	13
35 years of excellence, and perspectives ahead for excellence 4.0	Carvalho A.M.	9

Tabela 7 - Publicações por citações na bases de dados Scopus

Fonte: O próprio autor

### 4.3 DETALHAMENTO

A partir das primeiras impressões sobre o tema, resultante das análises realizadas até então, serão construídas análises que determinam os principais autores, abordagens e tendências que não podem faltar na revisão sistemática. O final da seção 4 será dedicada à criação dessas análises mais aprofundadas e entrega de tabelas consolidando os principais resultados encontrados.

As Figuras de 14 a 17 foram geradas utilizando o software gratuito *VOSViewer*, que auxilia na criação de visualização de mapas de calor, mapas de redes de dados e mapas de densidade.

### 4.3.1 Cocitação

A cocitação possibilita a análise de artigos que são frequentemente colocados em conjunto, podendo elucidar uma possível semelhança entre os trabalhos. A Figura 14 apresenta a relação de similaridade dos estudos extraídos da base de dados WoS, resultando em 5 clusters. Para a criação da relação foram considerados citações que ocorreram mais de 2 vezes.

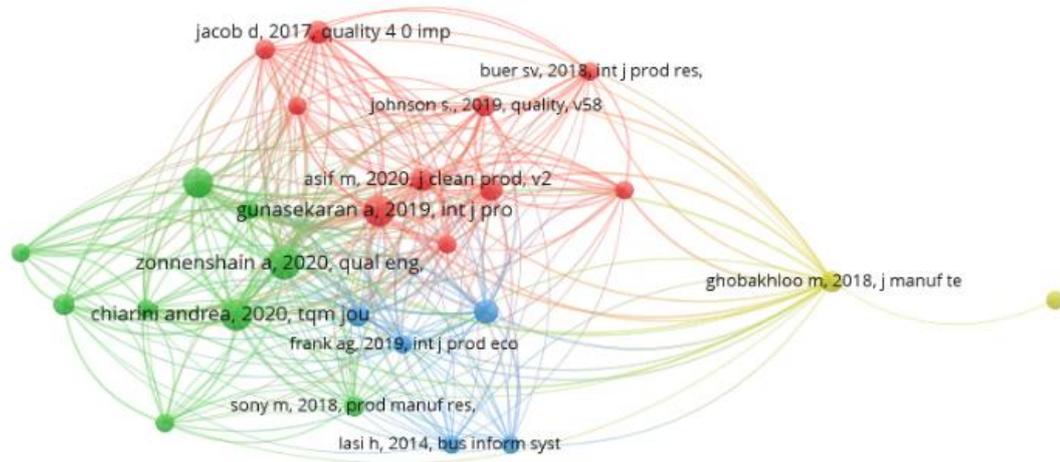


Figura 14 – Mapa de Redes Cocitação da base WoS

Fonte: Autor (2022)

Conforme a Figura 14 apresenta, o cluster vermelho, com 10 pontos de cocitação, relaciona artigos que tratam sobre a gestão da qualidade no contexto de indústria 4.0. Entre os autores com maior força no cluster estão Gunasekaran A. (2019), Asif M. (2020) e Johnson S. (2019). Esses trabalhos abordam as lacunas da gestão da qualidade, os principais desafios para a adaptação dos profissionais da área para atuar no novo contexto tecnologia da Indústria 4.0. Entre os principais desafios citados estão a falta de recursos, referindo-se à recursos humanos, financeiros e técnicos e a falta de alinhamento cultural da organização com a Indústria 4.0.

O segundo cluster com maior número de referências foi o cluster verde, com 9 pontos de cocitação. Esses artigos tem maior enfoque na Qualidade 4.0, entre os principais assuntos abordados estão a definição da Qualidade 4.0, seus pilares e a implementação da qualidade 4.0 com suas principais tecnologias. Esses artigos tratam as novas tecnologias da Indústria 4.0 como as tecnologias pertencentes a Qualidade 4.0 e apresentam possibilidades e adaptações das tecnologias para esse contexto. Os trabalhos com maior força nesse cluster são de Zonnenshain, A. e Kennet, S. (2020) e Chiarini, A. (2020).

O terceiro cluster com maior número de relações é o de cor azul, que possui 5 trabalhos relacionados. Os trabalhos deste cluster tratam principalmente das tecnologias e suas conceituações e, para este trabalho, apoiam no entendimento das possibilidades e limitações

que a Indústria 4.0 possui. O trabalho com maior vínculo no cluster azul é de Frank, A. G. (2019), que apresenta uma opção de clusterização das tecnologias e explica a aplicação de cada uma.

Por fim, o cluster amarelo, que possui somente 2 trabalhos relacionados, trata sobre a implementação da Indústria 4.0. Os trabalhos do cluster apresentam pré-requisitos e necessidades observadas em empresas que já passaram ou estão passando pela transformação para a Indústria 4.0. O trabalho com principal força desse cluster é de Ghobakhloo, M (2018), em que é apresentado um roadmap para a implementação da Indústria 4.0.

Em seguida, foi desenvolvida a mesma análise para os resultados encontrados na base Scopus. A Figura 15 apresenta a relação de similaridade dos estudos extraídos do Scopus, que resultou em 3 clusters. Para a criação da relação foram considerados citações que ocorreram mais de 4 vezes.

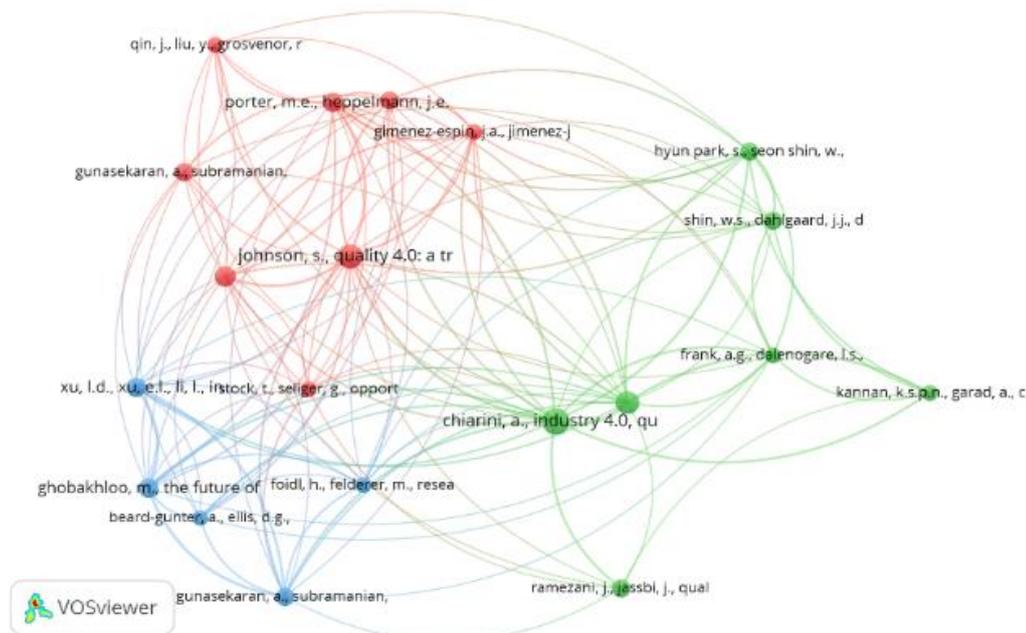


Figura 15 – Mapa de Redes Cocitação da base Scopus

Fonte: Autor (2022)

Seguindo resultados muito parecido com os encontrados na base WoS, pode-se visualizar que os principais clusters seguem com muitos autores semelhantes e temas também. O cluster vermelho, que possui 8 referências conectadas, é composto por trabalhos que apresentam as principais oportunidades e benefícios da gestão da qualidade ou das novas tecnologias da Indústria 4.0. Esse cluster é representado, baseado na força das cocitações, por Johnson, S e Gunasekaran, A.

O segundo cluster com mais pontos de referências, possuindo 7 trabalhos conectados, está destacado na cor verde. Esse cluster tem a gestão da qualidade na Indústria 4.0 como principal tópico, seus trabalhos abordam as lacunas da gestão da qualidade e as novas habilidades requeridas nesse contexto, como a falta de entendimento de análise e mineração de dados e a necessidade de colaboração entre diferentes profissionais. Nesse cluster Chiarini, A é o principal ponto focal.

O último cluster, destacado pela cor azul, possui 5 trabalhos relacionados. Esses estudos apresentam definições, perspectivas de futuro e possibilidades da Indústria 4.0, semelhante ao cluster amarelo apresentado na análise de cocitação da base Web of Science.

Após essas análises, iniciou-se a análise de acoplamento bibliográfico.

### 4.3.2 Acoplamento bibliográfico

O acoplamento bibliográfico, ou *Coupling*, parte da premissa que artigos que tiveram citações iguais possuem semelhanças, porém, diferente da cocitação, o acoplamento é uma medida de associação entre duas publicações. Ou seja, o acoplamento ocorre quando dois ou mais trabalhos possuem ao menos uma referência em comum, visando revelar as principais frentes de pesquisa.

A partir da base de dados *Web of Science*, foi gerada a Figura 16.

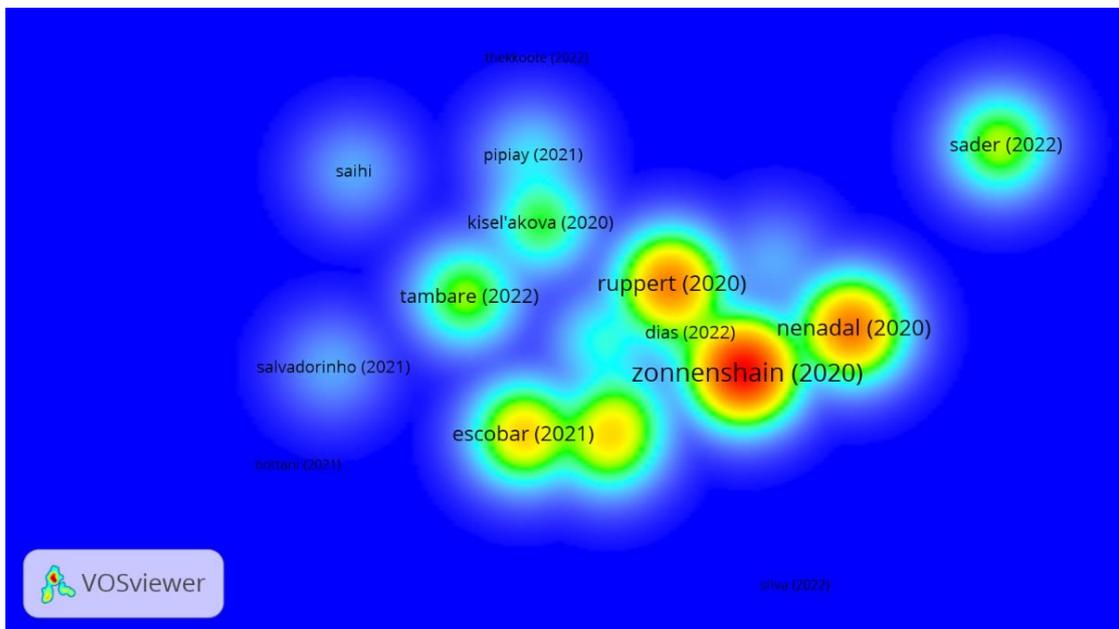


Figura 16 - Mapa de Calor de Coupling da base WoS

Fonte: Autor (2022)

Na Figura 16, o principal ponto de calor é o trabalho de Zonnenshain (2020), que analisa as direções futuras da gestão da qualidade e os desafios da mesma frente a Indústria 4.0. No

artigo são levantadas bases essenciais para a atualização do preparo e conhecimento requeridos para profissionais da qualidade, oferecendo direções para o futuro da profissão.

Já Ruppert (2020) apresenta uma proposta de simulação 4.0 baseada em um framework adaptativo explorado por processos e mineração de dados, ao longo do artigo, ferramentas de controle estatístico de processo são apresentadas como forma de verificar a precisão das simulações, esse estudo é um dos exemplos que integra novas tecnologias com estruturas tradicionais.

Próximo a esses pontos de calor está também Nenadal (2020), trabalho que avalia se novo modelo de EFQM é uma ferramenta adequada para a Qualidade 4.0 e conclui que existem vantagens na nova estrutura, porém não está claro se esse modelo supre as novas necessidades da Indústria 4.0. Segundo o artigo, ainda é necessário maior foco e investimento na adaptação dos padrões para a realidade da Q4.0.

Em seguida, apresenta-se o mapa de calor do acoplamento bibliográfico da base de dados Scopus, conforme apresentado na Figura 17.

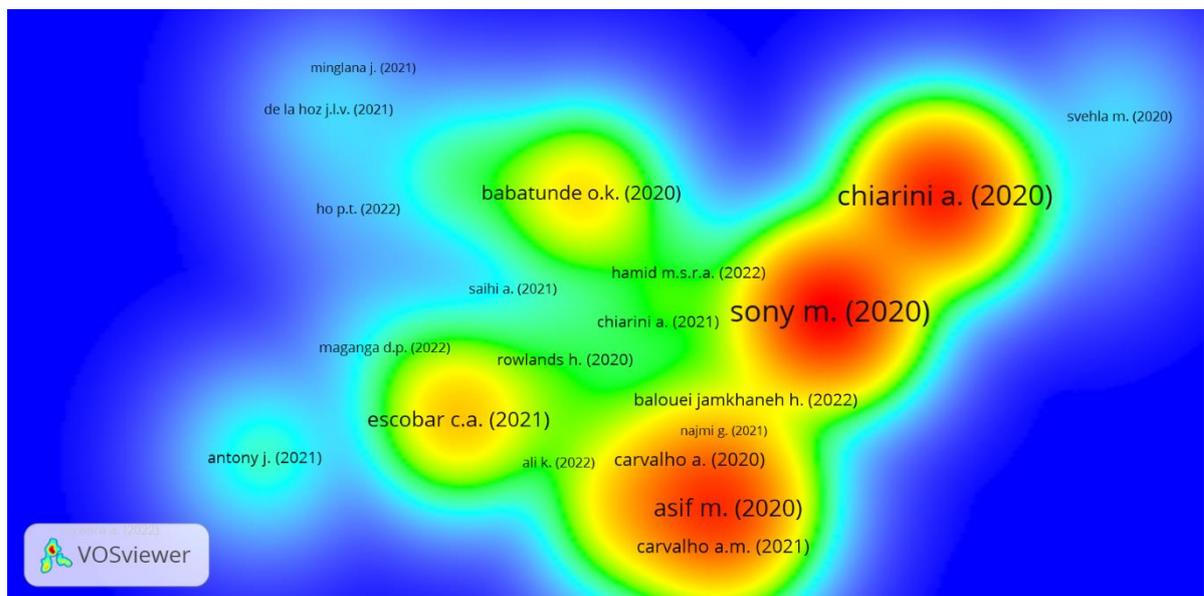


Figura 17 – Mapa de Calor de Coupling da base Scopus

Fonte: Autor (2022)

A Figura 17 apresenta 3 principais pontos de calor, que representam os fronts de pesquisas dos artigos encontrados na base Scopus. Primeiramente, identifica-se o trabalho de Sony (2020), que avalia os ingredientes essenciais para a implementação efetiva da Qualidade 4.0, apresentando necessidades e, ao final, abrindo a necessidade de investigar como as

ferramentas da qualidade serão benéficas para a integração ao longo da implementação da Indústria 4.0.

O segundo polo do mapa de calor, liderado por Chiarini (2020), buscou compreender se existe uma definição de Qualidade 4.0 e consolidar os principais pontos de contato entre a gestão da qualidade e a Indústria 4.0. Em sua pesquisa são abordadas a necessidade de criação de valor dentro da empresa com o novo padrão de qualidade dos dados, a necessidade de desenvolver os profissionais para a Qualidade 4.0 e o uso de tecnologias da Indústria 4.0 para garantia do controle da qualidade.

Seguindo para o último polo de calor, destaca-se o autor Asif (2020), pioneiro na revisão da qualidade tendo em vista os desenvolvimentos da indústria 4.0 e em seu estudo avalia o alinhamento e as lacunas que a Gestão da Qualidade possui em relação as novas tecnologias e inovações do mercado. Esse trabalho é bastante citado por seus pontos de recomendações e inadequações da Gestão da Qualidade frente a essa nova realidade.

Em seguida, realizou-se a análise de palavras chave que aparecem com maior frequência nos artigos selecionados.

### 4.3.3 Análise de palavras chave

Por fim, a co-ocorrência e frequência de palavras chaves é analisada, estabelecendo as principais linhas de pesquisa por meio do aparecimento de palavras-chave. As Figuras 18 e 19 apresentam os resultados apresentados por dados extraídos de cada base de dados.

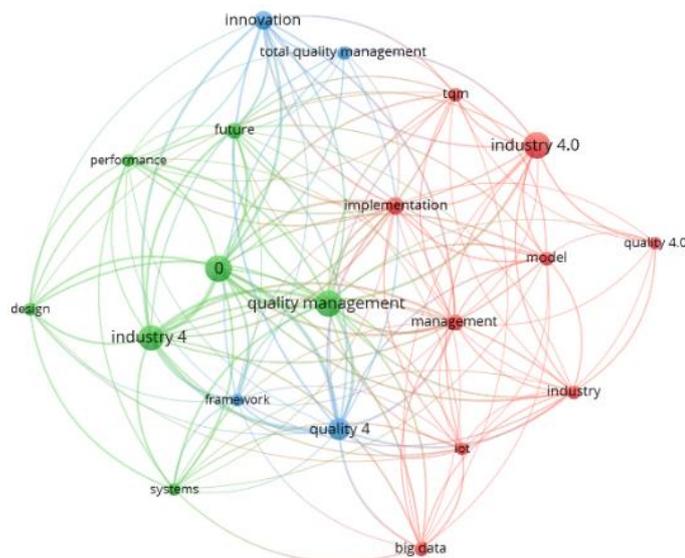


Figura 18 – Mapa de Redes Palavras Chave da base WoS

Fonte: Autor (2022)

Como já esperado, entre as palavras mais frequentes estão “*Quality Management*”, “*Industry 4.0*” e “*Quality 4.0*” porém, além dessas, a aparição de *Implementation*, *Big Data*, *Innovation* e *Total Quality Management* mostram que além de entender os conceitos principais cercado o tema de Qualidade 4.0, há tendência nos estudos de aplicação das novas tecnologias e a preocupação de como apoiar o mercado à adaptação necessária para essa nova realidade, inclusive associando a qualidade 4.0 como uma forte aliada da inovação.

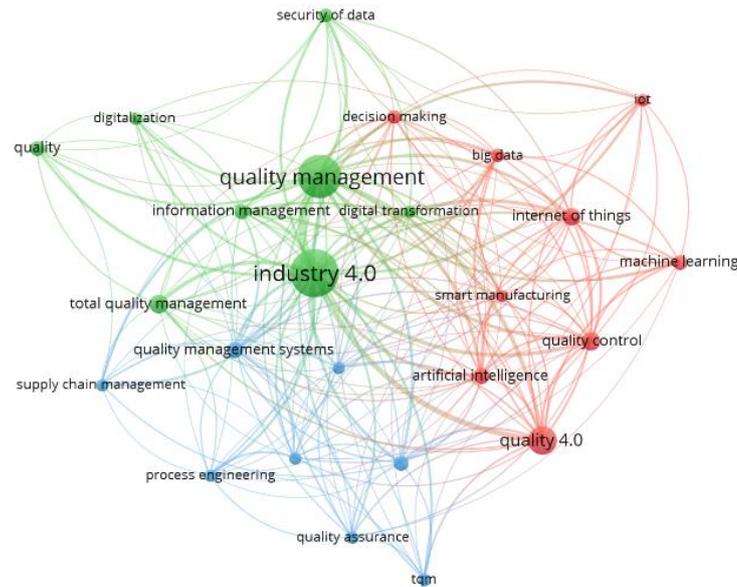


Figura 19 - Mapa de Redes Palavras Chave da base Scopus

Fonte: Autor (2022)

Consequente ao maior número de artigos selecionados na base de dados Scopus, existe um maior número de palavras chaves a serem analisadas. Semelhante ao mapa de redes da base WoS, os dois destaques são para as palavras-chave *Quality Management* e *Industry 4.0*, seguidos por *Quality 4.0*. Além desses, outras tecnologias da Indústria 4.0 estão presentes como Inteligência Artificial, *Machine Learning* e outras.

Outras palavras presentes são *Process Engineering*, *Decision Making* e *Digitalization*, todas as palavras reforçam as tendências já encontradas até então, que a qualidade 4.0 não abole o uso de ferramentas tradicionais da qualidade, que inclusive a indústria 4.0 tem objetivos próximos com a Gestão Total da Qualidade, e que com o apoio de novas tecnologias ocorrerá a digitalização da qualidade.

#### 4.4 QUADROS INTEGRADORES

Os resultados do estudo corroboram com a relação benéfica que existe entre a combinação de ferramentas da qualidade apoiando no desenvolvimento e implementação das novas tecnologias da Indústria 4.0. Ademais, o aumento dos estudos relacionados ao tema

reforçam também que o assunto está sendo difundido e o valor dessa combinação está sendo percebido por empresas do mercado.

O Quadro 2 apresenta relações encontradas entre as ferramentas da qualidade e a Indústria 4.0.

Autores	Considerações sobre Ferramentas da Qualidade e Indústria 4.0
Dias, Carvalho e Sampaio (2021)	Afirmam que os métodos tradicionais da qualidade se encaixam com os conceitos da Qualidade 4.0 e que a Q4.0 deveria estar focada em aumentar a capacidade humana com apoio de ferramentas inteligentes para auxiliar no alcance dos objetivos da qualidade.
Carvalho (2020)	Afirmam que as novas tecnologias orientadas por dados podem ser usadas junto a métodos e ferramentas da qualidade, que a junção desses elementos apoia na expansão da capacidade de gerenciamento.
Tortorella, da Silva e Vargas (2018)	Demonstram que os impactos da Indústria 4.0 na performance operacional são realçados em empresas que já possuem práticas de qualidade total implementadas.
Zonnenshain e Kenett (2020)	Comparam a introdução das tecnologias da I4.0 como uma introdução de inovação nas companhias e afirmam que esse processo pode ser feito por meio de abordagens e ferramentas de qualidade.
Čresnar, Potocan e Nadelko (2020)	Apresentam uma relação positiva entre a gestão total da qualidade e a implementação da Indústria 4.0. Esse estudo foca em apresentar como ferramentas gerenciais podem acelerar a implementação das tecnologias da I4.0.
Silva, Borges e Magano (2021)	Afirmam que existe uma simbiose entre as novas tecnologias e as ferramentas básicas da gestão da qualidade enfatizando sua complementariedade.

Quadro 2 – Considerações sobre Ferramentas da Qualidade e Indústria 4.0

Fonte: Autor (2022)

Entendendo que as ferramentas possuem uma relação benéfica e relevante para a Indústria, 4.0, buscou-se avaliar quais ferramentas possuem maior sinergia com esse novo contexto. Para isso foi elaborada a Figura 20, que se refere a 50 artigos, entre os 67 selecionados, que abordam diretamente alguma das ferramentas da qualidade selecionadas para esse estudo.

A Figura 20 tem por objetivo apresentar a recorrência que cada ferramentas da qualidade foi associada a Indústria 4.0 nos artigos selecionados durante o TEMAC.

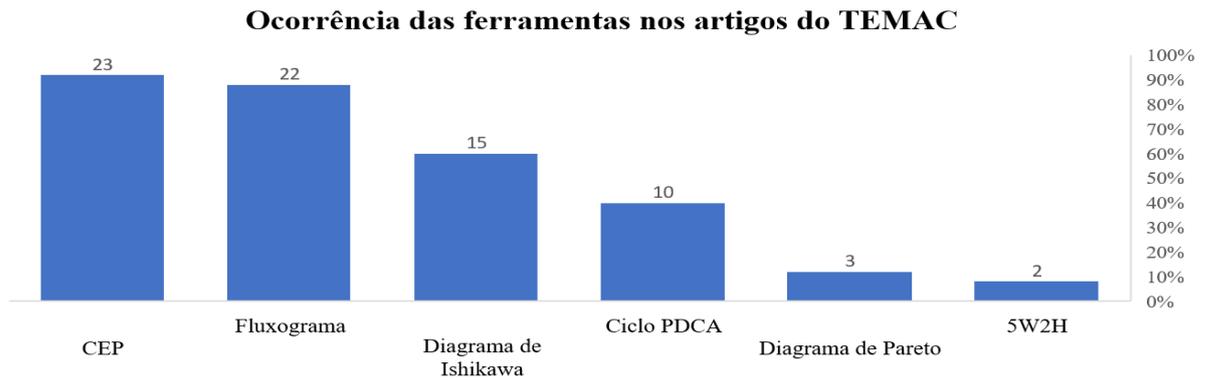


Figura 20 - Ocorrência das Ferramentas da Qualidade no TEMAC

Fonte: Autor (2022)

A ferramenta mais citada nos estudos selecionado foi o Controle Estatístico de Processo, citada em 25 entre os 67 artigos selecionados, seguida do Fluxograma, com 21 citações, e do Diagrama de Ishikawa, com 15 citações. Partindo dos resultados da Figura 20, uma nova análise foi desenvolvida buscando aprofundar na relação das ferramentas da qualidade com as tecnologias da Indústria 4.0. No Quadro 3 são apresentadas as principais relações encontradas em cada ferramenta da qualidade analisada e a Indústria 4.0.

Ferramenta da Qualidade	Contribuições	Autores
CEP	Apoia fornecendo formas gráficas de consolidar e representar os resultados, seguindo o objetivo original da ferramenta. Principal atuação na etapa de monitoramento dos resultados, podendo auxiliar na mensuração do impacto da implantação de novas tecnologias.	Zan (2019); Vo, Kongar E Suarez-Barraza (2020); Peças (2021); Diez-Olivan (2019); Bottani (2021); Tortorella, Da Silva E Vargas (2018); Ali E Johl (2022); Ruppert E Abonyi (2020)
	Apoiado na criação de gráficos em tempo real e com mais precisão. Por meio de tecnologias de coleta e mineração de dados, o volume de informação passa a ser maior e atualizado instantaneamente na ferramenta, possibilitando que as análises sejam de dados do momento presente.	Rowlands E Milligan (2021); Villegas Forero E Sisodia (2020); Thekkoote (2022); Hamid, Masrom E Mazlan (2022); Carvalho (2020); Sony, Antony E Douglas (2020); Czvetkó (2022); Sader, Husti E Daróczy (2019); Zonnenshain E Kenett (2020)
	Apoiado na geração de <i>insights</i> , se retroalimentarem criando novas e melhores análises por meio de novas tecnologias, como Inteligência Artificial, Simulação e Realidade Virtual e Aumentada.	Carvalho (2021); Dias, Carvalho E Sampaio (2021); Mareček-Kolibiský E Kučerová (2021); Corti, Masiero E Gladysz (2021); Ho (2022); Carvalho (2020); Czvetkó (2022); Diez-Olivan (2019)
Fluxograma	Auxílio no alinhamento, integração e descentralização da informação, inclusive com papel ativo no entendimento da relação entre as atividades nos centros de trabalhos e nos centros digitais. O Blockchain, é citado como fonte de apoio por gerar um meio de compartilhamento de informação instantâneo e seguro.	Tupa E Steiner (2019); Peças (2021)
	Pré requisito para melhoria de processo, apresentado como ponto importante prévio a implementação da Indústria 4.0. Apoia na visualização do processo durante o início da implementação da Indústria 4.0. Importante para a definição de etapas críticas do processo, que serão inputs para as decisões de quais tecnologias e onde aplica-las nos processos da organização.	Govender, Telukdarie E Sishi (2019); Corti, Masiero E Gladysz (2021); Ali E Johl (2022); Teplická, Hrehová E Ševela (2021); Svehla (2020); Ali E Johl (2021); Escobar, MCGovern E Morales-Menendez (2021); Peças (2021); Czvetkó (2022)
	Apoiado por meio do monitoramento e coleta de dados em tempo real, isso permite insumos para um primeiro fluxograma mais assertivo e para a atualização periódica do fluxo.	Mikhailov, Mikhailova E Kasatkin (2020); Villegas Forero E Sisodia (2020); Diez-Olivan (2019); Czvetkó (2022); Dias, Carvalho E Sampaio (2021); Tupa E Steiner (2019); Carvalho (2020)
	Apoiado na geração de insights do processo e na validação do processo por tecnologias da Indústria 4.0 como Inteligência Artificial, Simulação e Realidade Aumentada.	Mareček-Kolibiský E Kučerová (2021); Villegas Forero E Sisodia (2020); Ruppert E Abonyi (2020); Tupa E Steiner (2019); Efimova E Briš (2021); Saihi, Awad E Ben-Daya (2021); Peças (2021)

Quadro 3 – Integração das Ferramentas da Qualidade com as tecnologias da Indústria 4.0  
Fonte: Autor (2022)

Ferramenta da Qualidade	Contribuições	Autores
Diagrama de Ishikawa	Apoio do monitoramento e coleta de dados em tempo real para encontrar novos problemas mais rápidos e ter maior precisão das informações para encontrar a causa raiz do problema.	Villegas Forero E Sisodia (2020); Chiarini (2020); Tambare (2021); Ali E Johl (2021)
	Crucial para a melhoria contínua pois encontrar a causa raiz, que é o objetivo da ferramenta, segue sendo uma etapa inicial para a resolução de um problema.	Silva, Borges E Magano (2021)
	Apoiado pela Inteligência Artificial para identificar problemas e gerar insights livres de vieses humanos e com possibilidade de encontrar padrões com outros setores da empresa.	Dias, Carvlho E Sampaio (2021); Vo, Kongar E Suarez-Barraza (2020); Chiarini (2020)
Diagrama de Pareto	Apoia fornecendo forma gráfica de encontrar quais problemas mais impactam na operação, sendo uma ferramenta essencial para a definição de quais processos ou produtos irão gerar maior impacto no resultado e, conseqüentemente, devem ter as melhorias e implementações priorizadas.	Vo, Kongar E Suarez-Barraza (2020); Silva, Borges E Magano (2021)
	Apoiado na criação de gráficos em tempo real e com mais precisão. Os dados gerados utilizam de tecnologias, como IA para geração de insights e melhoria dos gráficos.	Silva, Borges E Magano (2021); Peças (2021)
5W2H	Apoia na estruturação dos planos de ação, que são necessários na criação e melhoria contínua, e dá clareza sobre os responsáveis e o que está sendo feito para todos os envolvidos.	Chiarini (2020); Correia, Teixeira E Marques (2021)
Ciclo PDCA	Apoia com a mentalidade de melhoria continua trazida pelo método. Cada fase pode ser relacionada com diferentes ferramentas que agregarão à implementação como um todo.	Escobar, MCGovern E Morales-Menendez (2021); Silva, Borges E Magano (2021); Peças (2021); Sony, Antony E Douglas (2020); Svehla (2020)
	Apoiado na integração das informações, na possibilidade de simular as melhorias com maior precisão antes de executar alguma ação e no uso de tecnologias para auxílio na verificação da execução.	Carvalho (2021); Saihi, Awad E Ben-Daya (2021); Dias, Carvalho E Sampaio (2021); Peças (2021); Ali E Johl (2021)

Quadro 3 – Integração das Ferramentas da Qualidade com as tecnologias da Indústria 4.0  
Fonte: Autor (2022)

A partir dos artigos estudados, encontrou-se exemplos de aplicação das ferramentas da qualidade junto às tecnologias da Indústria 4.0, A seção 4.5 apresenta um dos estudos de caso validados, busca-se a partir dele exemplificar como as ferramentas podem apoiar na implementação de novas tecnologias

#### **4.5 VALIDAÇÃO POR MEIO DE EVIDÊNCIAS – Quality Control 4.0: a way to improve the quality performance and engage shop floor operators – Projeto 1: Smart Vision**

No artigo selecionado, os autores buscam responder como as novas tecnologias podem, combinado ao fator humano, contribuir para a melhoria do controle da qualidade. Por meio de uma pesquisa, qualitativa e quantitativa, são desenvolvidos 2 (dois) estudos de caso em uma empresa de automóveis buscando gerar uma implementação orientada pela melhoria contínua. Entre os principais objetivos da pesquisa está reforçar a interconexão entre as ferramentas básicas da qualidade com a Qualidade 4.0, objetivo que está alinhado com a presente pesquisa.

Ao longo do artigo é ressaltado a importância da abordagem colaborativa com a mão de obra para garantir a implementação de tecnologias no processo de controle da qualidade, reforçando a importância de discussões sobre o papel e necessidade dos colaboradores nesse processo. No estudo de caso, a Qualidade 4.0 é definida como mais do que as novas tecnologias, sendo a abordagem em que empresas podem usar ferramentas digitais para entregar mais qualidade de forma consistente ao longo de toda a cadeia de suprimento. Nesse contexto, as tecnologias são consideradas como apoio para fornecimento de informação em tempo real para customizar e melhorar o controle da qualidade dentro dos ambientes fabris.

Visando responder à pergunta do estudo de caso, o *case* apresentado passa pela etapa de seleção de critérios da organização, coleta de dados, o desenvolvimento do projeto e a análise dos resultados. Para a execução dos projetos optou-se pela aplicação do ciclo PDCA.

Iniciando com a etapa de Planejamento do ciclo PDCA, houve identificação do problema, etapa na qual o objetivo da qualidade era que o veículo não demandasse retrabalho devido a problemas na inspeção de qualidade. O objetivo foi mensurado pela porcentagem de carros que demandaram retrabalho após sair do setor de produção e seu resultado foi de 2% em 2016. Observou-se que o setor de montagem era responsável por 50% dos retrabalhos e, dentro do setor foram encontrados 4 defeitos com maior impacto na qualidade: Degradação Aparente (AD), Eletricidade e Eletrônica (EE), Ruídos (RU), Espuma de Enchimento (EN). Problemas relacionados à Degradação Aparente eram os mais recorrentes, como apresentado na Figura 21.

Os dados foram possíveis de serem coletados e analisados por meio da utilização de tecnologias como Internet das Coisas, *Cloud Computing* e *Big Data*.

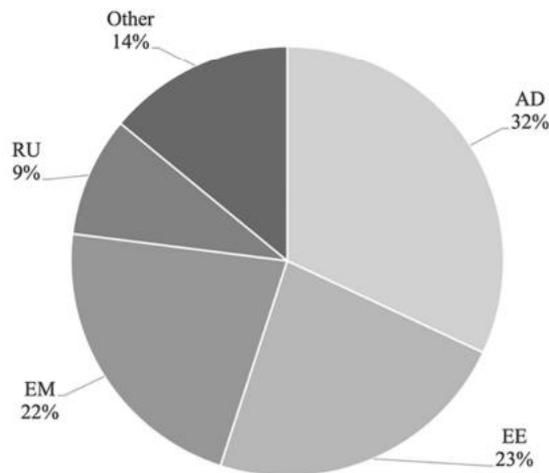


Figura 21 – Análise de Defeitos

Fonte: Silva e Borges (2021)

Partindo desse problema, desenvolveu-se uma análise utilizando o diagrama de Pareto, conforme a Figura 22. O diagrama considerou dados coletados entre setembro e dezembro de 2017 e mostrou que 3 principais problemas representavam aproximadamente 80% dos defeitos, estes são: pinturas rachadas, partes amassadas e arranhões.

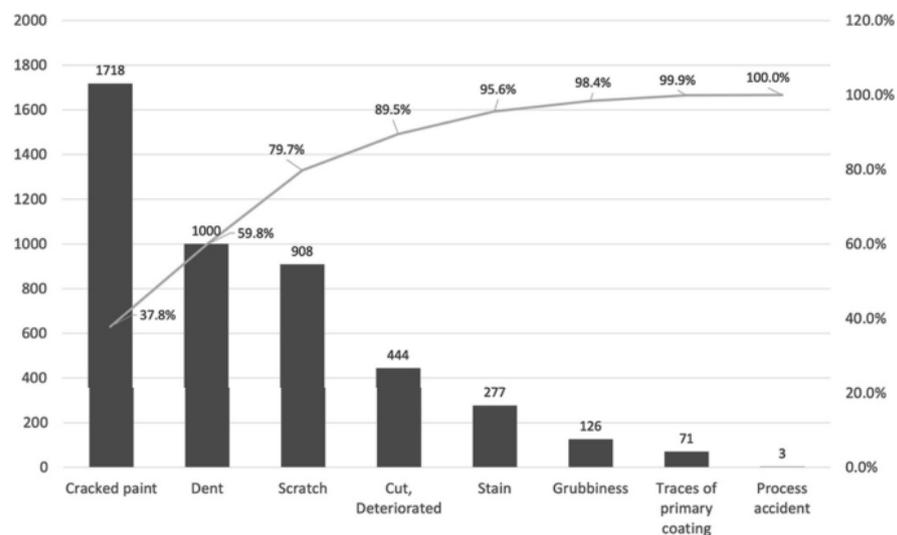


Figura 22 - Gráfico de Pareto

Fonte: Silva e Borges (2021)

Seguindo na busca pelas principais causas de defeitos na montagem, foi feita uma análise por meio do diagrama de Ishikawa. Ao segmentar os principais problemas em 5 eixos observou-se que 70% dos problemas foram originados por problemas com colaboradores.

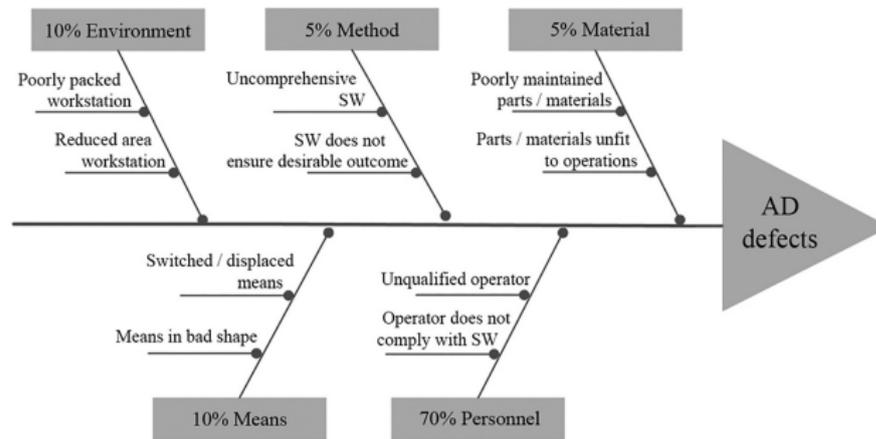


Figura 23 – Diagrama de Ishikawa

Fonte: Silva e Borges (2021)

Ainda na etapa de planejamento, houve a análise da situação e uma rodada de levantamento de ideias para desenvolver soluções. A partir das discussões surgiu a sugestão de implementação de câmeras, as quais capturam as imagens da área do carro a ser inspecionada em tempo real. Na etapa de execução, dentro do ciclo PDCA, criou-se um projeto piloto pra desenvolver o controle por vídeo do sistema com foco na detecção de defeitos de degradação de aparência. Foi estruturado outro diagrama de Ishikawa após a gravação e análise das gravações da câmera.

Em seguida foi feita verificação do projeto piloto, gerando a conclusão que o sistema de controle por vídeo é viável e hábil para detectar os defeitos que afetam os indicadores de qualidade da companhia. Nessa etapa de implementação, as análises de qualidade seguem feitas por colaboradores, que conseguem ter melhor visualização por meio das câmeras. Além do controle da qualidade, essa aplicação aumenta a disponibilidade dos operadores para operar em qualquer parte da linha de montagem por meio dos vídeos.

Na etapa de ação, avaliou-se os resultados preliminares e houve a sugestão de adicionar outra câmera de vídeo para reduzir o tempo de investigação do defeito. Todo esse estudo servirá de contribuição para a possibilidade de incluir um processo que utilize IA para reconhecer os defeitos sem interferência humana.

Esse estudo apresenta um caso que associou ferramentas da qualidade com tecnologias da Indústria 4.0 buscando uma identificação mais assertiva dos problemas que maior impactavam a qualidade de seus produtos para posteriormente iniciar a implementação de tecnologias para apoiar no processo.

A partir dos exemplos analisados nos artigos encontrados no TEMAC, percebe-se a possibilidade de associar outras ferramentas a essa melhoria, como a Realidade Virtual e

Aumentada para apoiar na identificação de imperfeições no produto e de IoT para coleta de dados no processo produtivo, possibilitando a captação de defeitos que não são vistos a olho humano. Além disso, existe a possibilidade de incluir Simulação para avaliar os potenciais de melhoria desse processo e o retorno que essas melhorias podem gerar, auxiliando em decisões assertivas para futuros projetos. Ressalta-se que a implementação de novas tecnologias ou ferramentas ao processo devem ser avaliadas para entender as restrições da organização.

Em seguida, a fim de validar e aprofundar as informações levantadas por meio das análises do TEMAC, desenvolveu-se uma pesquisa qualitativa, por meio de entrevistas. Vale ressaltar que a partir do Quadro 3, foi desenvolvido um quadro integrador e uma primeira versão do Ciclo PDCA 4.0, que serviu como insumo para a execução das entrevistas semiestruturadas.

## 5 RESULTADOS DA PESQUISA QUALITATIVA

A partir dos resultados encontrados por meio do TEMAC, realizou-se entrevistas com especialistas inserido no contexto da Indústria 4.0 para entender se os resultados iniciais estavam coerentes com a realidade e gerar maior aprofundamento no tema. Os profissionais foram selecionados a partir de seus artigos que citavam Indústria 4.0 e, pelo menos, uma ferramenta da qualidade associados.

As perguntas foram desenvolvidas com base na clusterização encontrada no mapa de redes de citações e associadas aos resultados representados no Quadro 3. No contexto da entrevista semiestruturada, as perguntas servem como guia de entrevista. A entrevista foi estruturada em quatro perguntas abertas, são elas:

1. No seu ponto de vista, quais são os principais desafios da Indústria 4.0?
2. Você enxerga a possibilidade de as ferramentas da Qualidade apoiarem nesses desafios? Se sim, quais e por quê.
3. Quais são as lacunas da Gestão da Qualidade que impedem que ela se adapte ao novo contexto da Indústria 4.0?
4. Avaliando o Modelo Integrador apresentado, você entender que essa sugestão está coerente? Incluiria alguma ferramenta da qualidade ou tecnologia nesse modelo?

E, ao final das perguntas, os resultados coletados do TEMAC foram apresentados visando coleta de feedbacks e complementos às relações observadas.

No que cabe aos entrevistados, houve dois perfis de especialistas: profissionais atuantes no mercado e professores. A seleção desses públicos alvo visou levantar opiniões variadas que gerassem insumos para uma análise multivariada qualitativa. Os dados foram coletados durante o mês de julho de 2022 com o auxílio de um gravador para registro da entrevista, que posteriormente foi transcrita para o desenvolvimento das análises.

Foram realizadas 7 entrevistas, cada entrevista gerou um corpus textual a ser analisado. A partir desses textos foram encontrados 459 segmentos de texto (um segmento de texto é considerado por grupos de texto de ao menos 3 linhas), gerados 16.192 ocorrências e identificadas 2463 formas. A partir dos corpos de texto, foram desenvolvidas as análises textuais.

A seção 4.1 apresenta mais detalhadamente as análises que foram desenvolvidas a partir das entrevistas.

## 5.1 NUVEM DE PALAVRAS

A primeira análise lexical realizada foi a Nuvem de Palavras, que é o agrupamento e organização das palavras considerando a frequência que as mesmas aparecem nos textos. Esse método é considerado uma análise lexical simples e visa auxiliar na rápida distinção das palavras que mais apareceram ao longo das entrevistas.



Figura 24 – Nuvem de Palavras

Fonte: Autor (2022) a partir do Software IRaMuTeQ

Na Figura 24 percebe-se que as palavras repetidas com maior frequência ao longo das entrevistas foram “tecnologia”, “dados”, “processo”, “empresa”, “pessoas”, “ferramenta da qualidade” e “problemas”. Por meio da Nuvem de Palavras relacionou-se o principal gargalo, na opinião dos especialistas, associado a palavra “pessoa”, que para os 7 especialistas é um dos principais desafios da I4.0 a capacitação e preparo da mão de obra nas organizações. Destaca-se, também, “processo”, termo citado principalmente ao tratar das dificuldades de implementação de I4.0, e “dados”, que foi levantado ao longo das entrevistas muito relacionado as ferramentas da Gestão da Qualidade por possibilitar análises mais aprofundadas, porém exigir uma nova habilidade dos profissionais da qualidade.

Essa análise serviu de guia e um primeiro contato com os resultados para o desenvolvimento das análises que serão apresentadas a seguir, iniciando com a Classificação Hierárquica Descendente, que será apresentada na próxima seção.

## 5.2 CLASSIFICAÇÃO HIERÁRQUICA DESCENDENTE (CHD)

O método da CHD foi proposto por Reinert (1990) e visa gerar classes que apresentam, simultaneamente, vocabulários semelhantes entre si e vocabulários diferentes de outros segmentos de texto. Assim, as classes obtidas são geradas por semelhança léxica.

Optou-se pelo dendrograma como maneira visual de apresentar os resultados. Nesse formato cada classe é apresentada por uma cor específica, com suas palavras mais frequentes em ordem hierárquica, classificada pela frequência obtida. O aproveitamento dos segmentos de texto foi de 82,14%, superando o mínimo razoável, segundo Santos (2017), de 70% de aproveitamento. A Figura 25 apresenta o dendrograma gerado.

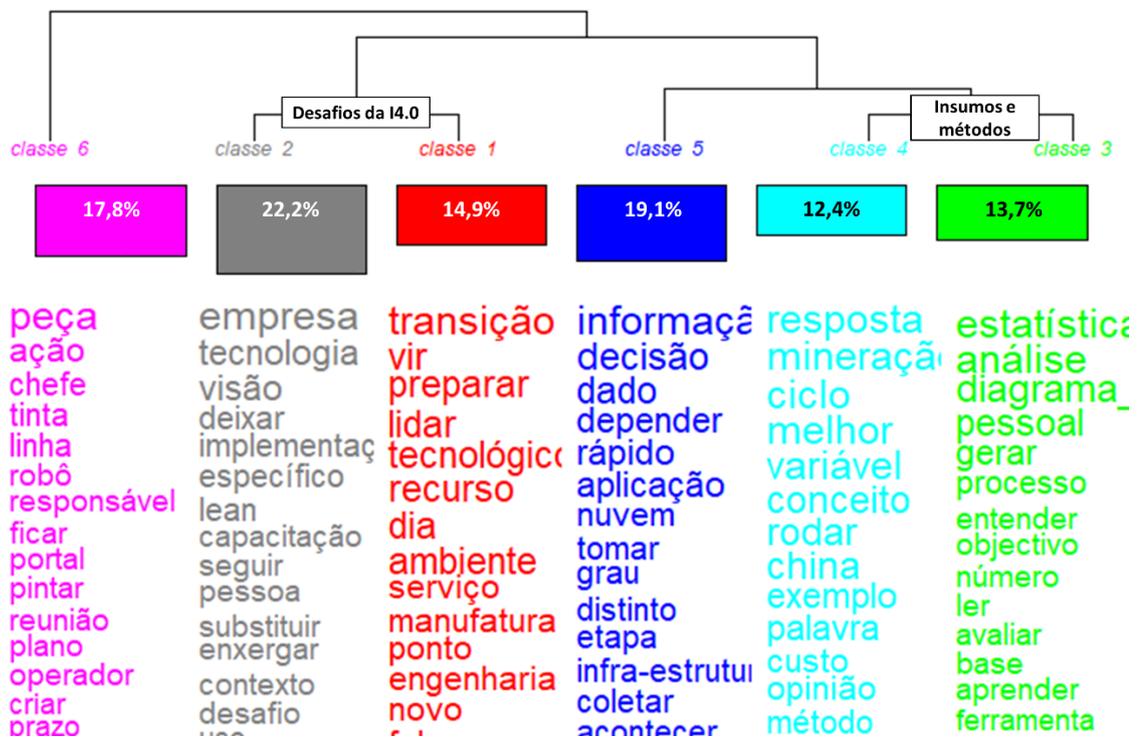


Figura 25 – Dendrograma da Classificação Hierárquica Descendente  
Fonte: Autor (2022) a partir do Software IRaMuTeQ

A primeira ramificação do dendrograma isola a classe 6 em um bloco e subdivide outro com as classes restantes. A classe 6, que reúne 17,8% dos segmentos de texto considerados, representa um cluster composto pelos profissionais atuantes no mercado, ou seja, os entrevistados que não são professores em universidade e que têm projetos aplicados no mercado. Esse fator é realçado ao analisar as palavras do cluster, que abordam situações cotidianos e aspectos mais finalísticos.

Essa classe apoiou, principalmente, no entendimento de como os conceitos da Gestão da Qualidade são aplicados fora do meio acadêmico, levantando os receios que lideranças têm sobre burocracia e excesso de formalizações, refletido pela recorrência do termo “chefe”, mas

apresentando também os benefícios percebidos, como o aumento de resultados, a melhoria nas ações propostas e o melhor entendimento de prazos e responsabilidades.

Na ramificação que dá origem as classes 1 e 2, percebe-se a possibilidade de junção dos cluster, gerando uma classe chamada de “Desafios de I4.0” estão reunidos os segmentos relacionados aos desafios da Indústria 4.0, sendo relacionados em todas as entrevistas à formação e desenvolvimento da mão de obra. A classe 1, que reúne 14,9% dos segmentos, destacam-se palavras como “transição”, “vir” e “preparar”, tópico frequentemente ressaltado sobre as mudanças da Indústria 4.0 e a falta de preparo das indústrias. Nessa classe percebe-se trechos com mais ressalvas sobre a I4.0, entendendo que as organizações ainda precisam compreender melhor os avanços tecnológicos gerados pela 4ª Revolução Industrial antes de iniciarem uma implementação em massa das tecnologias. Essa classe está próxima da classe 2 pois percebe-se uma relação direta entre a necessidade do entendimento do contexto e dos desafios dos processos, que pode apoiar-se na Gestão da Qualidade, para auxiliar na transição para novas tecnologias.

A classe 2 tem principal destaque na palavra “empresa” e “implementação”, esta refere-se a discussões de futuro, desafios e transformações trazidas pela Indústria 4.0 reunindo 22,2% das palavras, que representa o maior bloco do dendrograma. Essa classe está entre as classes 6 e 1, sendo fortemente relacionada a percepções mais cotidianas da I4.0 e à receios da transição para essa nova realidade.

Na segunda ramificação temos outra subdivisão que dá origem à classe 3, que reúne 13,7% dos segmentos de texto, à classe 4, com 12,4%, e à classe 5, com 19,1%. Devido à relação próxima entre as classes 4 e 5, existe a possibilidade de criação de uma nova classe “Insumos e Métodos”. Há relação estabelecida entre esses clusters no vínculo entre ferramentas, insumos e métodos para gerar análises e entendimento sobre as informações coletadas. Identificou-se nessas classes os segmentos de texto que reforçam a relação entre os dados e as ferramentas, sendo entendido que uma das principais relações nesse caso é o melhor aproveitamento dos dados por meio de ferramentas da qualidade para orientar o entendimento e gerar ações a partir do uso das informações.

Em seguida, as classes definidas no dendrograma da CHD foram verificadas na Análise Fatorial Confirmatória visando maior profundidade.

### 5.3 ANÁLISE FATORIAL CONFIRMATÓRIA

A Análise Fatorial Confirmatória (AFC) possibilita a melhor visualização das proximidades das palavras oriundas da CHD por meio da representação em um plano cartesiano, no qual diferentes palavras e variáveis estão associadas a classes do dendrograma da CHD

Por meio da análise da AFC, percebe-se a clara separação da classe 1, o quadrante com eixo x e y negativos, correspondente aos entrevistados que estão inseridos no mercado de trabalho. Nessa visão, percebe-se, também, uma relação significativa entre as classes 3 e 4, gerando a classe “Insumos e Métodos”, e outra relação entre as classes 1 e 2, gerando a classe “Desafios da I4.0”, ambas com maior presença nos quadrantes de eixo y positivos. A Figura 26 apresenta a AFC desenvolvida após a análise de classes.

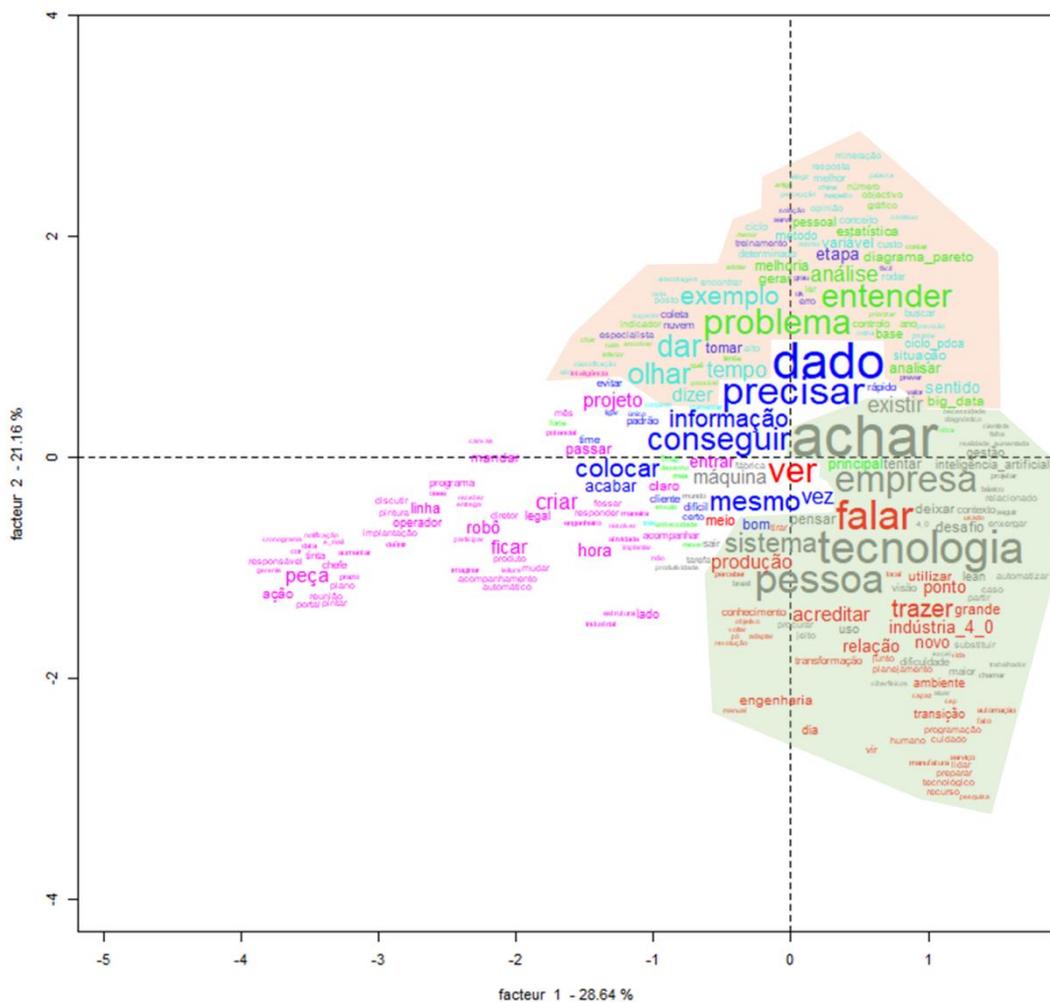


Figura 26 - Análise Fatorial Confirmatória  
Fonte: Autor (2022) a partir do Software IRaMuTeQ



grandes eixos organizadores, ou seja, as palavras com maior força dentro da análise são: “ferramenta”, “dado”, “processo” e “tecnologias”.

As palavras que constituem o grupo destacado em roxo, que possui palavras como “tecnologia”, “empresa”, “pessoas”, os entrevistados relacionam os principais desafios da Indústria 4.0 com a capacitação da mão de obra brasileira, inclusive citando a necessidade de atualização dos profissionais da qualidade para atender aos novos desafios.

Observou-se outras relações entre termos relevantes para a presente pesquisa, como a relação forte entre as palavras “ferramenta” e “processo” que são intermediadas pela palavra “qualidade”, fatores que foram recorrentemente ligados ao longo das entrevistas e como o processo também intermedia a relação entre as ferramentas e a tecnologia. Além disso, “processo” se apresenta próximo ao centro do diagrama, que reforça a importância da estruturação de um processo, incluindo o mapeamento, otimização e acompanhamento dos processos como peça importante para a Indústria 4.0 e para as ferramentas da qualidade. Dessa forma, o grupo destacado de verde atua vinculando as tecnologias da Indústria 4.0, que em maior parte aparecem nos grupos vermelho e azul, com as mudanças e desafios da Indústria 4.0.

Dentro do grupo vermelho a relação mais forte com a palavra “qualidade” é feita com diferentes tecnologias da Indústria 4.0, com enfoque para a relação com “IoT”, “Big\_Data” e “Nuvem”, termo abreviado utilizado pelos entrevistados para referir-se ao *Cloud Computing*, que foram bastante citados em conjunto com ferramentas da qualidade.

E, por fim, o grupo azul que representam as palavras mais relacionadas à palavra “dados”. Nesse agrupamento vemos diversas conexões entre “dados” e ferramentas e métodos da qualidade, como “Diagrama de Pareto”, “estatística” e “Ciclo PDCA”. Além disso, “algoritmo” e “decisão” aparecem também, que são fatores relevantes para a aplicação das ferramentas da qualidade e foram fortemente impactados com a melhora na qualidade e quantidade de dados disponíveis.

Com apoio de todos os resultados e análises desenvolvidas ao longo deste trabalho, a seção seguinte propõe o Ciclo PDCA, modelo que apresenta a relação entre as ferramentas da qualidade e as tecnologias da Indústria 4.0.

## 6 CICLO PDCA 4.0

Com o apoio de todas as análises realizadas até essa etapa, desenvolveu-se uma proposta do Ciclo PDCA 4.0, que visa consolidar os principais aprendizados desse estudo. Primeiramente, desenvolveu-se o Quadro 4, que sinaliza a conexão entre cada ferramenta da qualidade e cada tecnologia da Indústria 4.0. Para essas correlações considerou-se os resultados coletados nas entrevistas em conjunto com os resultados do TEMAC, incluindo 50 dos 67 artigos selecionados e as entrevistas com os especialistas selecionados.

Elementos da Indústria 4.0	Ciclo PDCA										
	Planejamento					Execução		Verificação		Padronização	
	CEP	Diagrama de Pareto	Diagrama de Ishikawa	Fluxograma	5W2H	5W2H	Fluxograma	Diagrama de Pareto	CEP	CEP	Fluxograma
<b>Cloud</b>	X	X			X	X	X	X		X	X
<b>Blockchain</b>	X	X		X	X	X	X	X		X	X
<b>IoT</b>	X	X	X	X				X	X	X	X
<b>Big Data</b>	X	X	X	X					X	X	X
<b>IA</b>	X	X	X			X			X	X	X
<b>Manufatura Aditiva</b>			X				X			X	
<b>Simulação</b>					X			X	X		X
<b>Robótica Avançada</b>											X
<b>Realidade virtual e aumentada</b>	X		X	X			X				

Quadro 4 - Relação entre as novas tecnologias e as ferramentas da qualidade

Fonte: Autor (2022)

Mesmo com pouco tempo de aplicação da I4.0, já existe relação documentada na literatura ou observada em estudos de caso que associa todas as tecnologias estudadas com, no mínimo, uma das ferramentas da qualidade citadas nesse artigo. Essas relações ainda estão em estágio iniciais, podendo existir outras relações além das que serão citadas a seguir.

As tecnologias com maior presença nos trabalhos acadêmicos foram a Inteligência Artificial, Big Data, IoT, Blockchain e Cloud Computing, que são ferramentas com maior enfoque analítico e que já foram mais exploradas na literatura. As tecnologias de Manufatura

Aditiva, Robótica Avançada e Realidade Virtual e Aumentada apareceram em alguns artigos da pesquisa bibliográfica, porém foram citados ao longo das pesquisas qualitativas. Em relação às ferramentas da qualidade, o Ciclo PDCA e o Diagrama de Pareto saltaram como as ferramentas mais citadas ao longo das entrevistas apesar de não aparecem em tantos artigos.

A partir do Quadro 4 e do entendimento gerado ao longo da pesquisa, optou-se por apoiar-se na estrutura do ciclo PDCA como norte para o desenvolvimento do modelo proposto.

Esse método da qualidade foi escolhido como método base para a melhoria contínua tendo como orientadores os artigos relacionando como o ciclo de Deming pode ser aprimorado com a implementação de novas tecnologias em suas etapas. Existem casos da aplicação do ciclo PDCA tradicional para a implementação efetiva da tecnologia na empresa. Silva e Borges (2021) mostram a importância que durante todo o processo de melhoria contínua exista integração horizontal dentro da empresa, reforçando também a necessidade de profissionais da qualidade trabalhando junto aos profissionais de TI.

Svehla (2020) apresenta outro caso, o ciclo PDCA apoia na implementação do BPM e relaciona como cada etapa do ciclo deverá ser dada. Em seu trabalho, Peças (2021) apresenta um modelo chamado de Ciclo PDCA 4.0, realizando previamente um estudo aprofundado sobre as lacunas que o atual modelo possui e a indústria 4.0 para apresentar uma adaptação de cada etapa do ciclo e como cada tecnologia apoia para a melhoria contínua.

Associado a todos os artigos citados acima, as entrevistas semiestruturadas validaram a necessidade de um método para auxiliar em processos de melhorias incrementais e na inserção de novos processos e tecnologias nas empresas, tópico enfatizado no seguinte trecho de entrevista:

“É uma ferramenta que se tu não fizeres, não aplicar ela seja informal ou não, as coisas não evoluem. Você tem que planejar, executar, verificar e padronizar, se não for feito, as coisas não acontecem. No passado tivemos experiências e não houve desenvolvimento, no cenário atual as pessoas estão sobrecarregadas e se não tiver uma etapa de verificação, muita coisa se perde. Planejamento é fundamental por que te dá um norte ne, a execução se você não tiver um check não vai ter execução. Não consigo imaginar como fazer funcionar sem isso.” - Entrevista nº3 (28/07/2022)

A partir dos resultados encontrados, propõe-se um método de Ciclo PDCA adaptado para a Indústria 4.0, denominado Ciclo PDCA 4.0, apresentado na Figura 28.

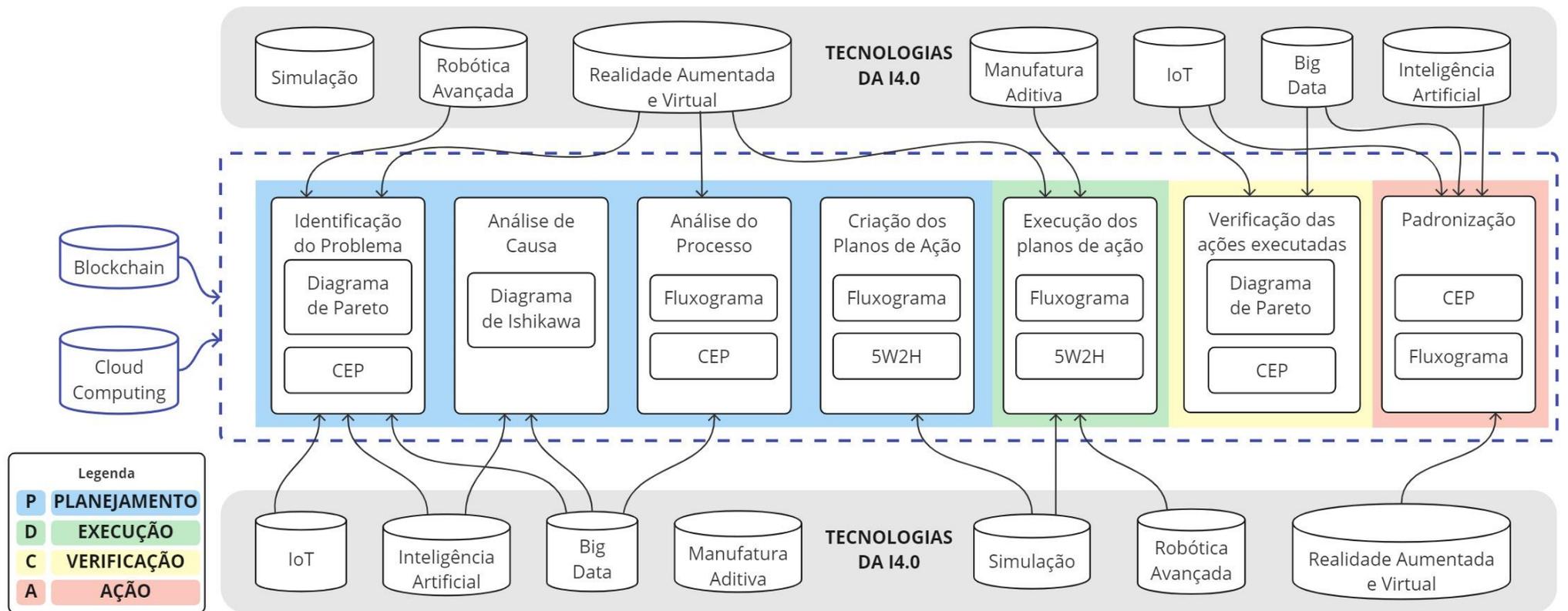


Figura 28 – Ciclo PDCA 4.0

Fonte: Autor (2022)

O *Blockchain* e o *Cloud Computing*, por serem termos de pesquisas mais recentes, ainda não possui tantas conexões na literatura, sendo as principais citadas por Tupa (2019), associando o apoio do Blockchain para fluxogramas, e Peças (2021) para o desenvolvimento do Ciclo PDCA como um todo, podendo essa associação relacionar-se com diversas outras ferramentas, como diagrama de Ishikawa, diagrama de Pareto, CEP e 5W2H. Sua atuação junto as ferramentas da qualidade permeiam todo o contexto digital em que as mesmas estão inseridas, cumprindo um papel de garantir transparência e acessibilidade às informações sem a necessidade de restrição à um ambiente físico de trabalho. Essa tecnologia permite que os processos, análises e melhorias feitas com apoio de cada ferramenta estejam disponíveis para as partes interessadas, a Figura 29 exemplifica esse processo.

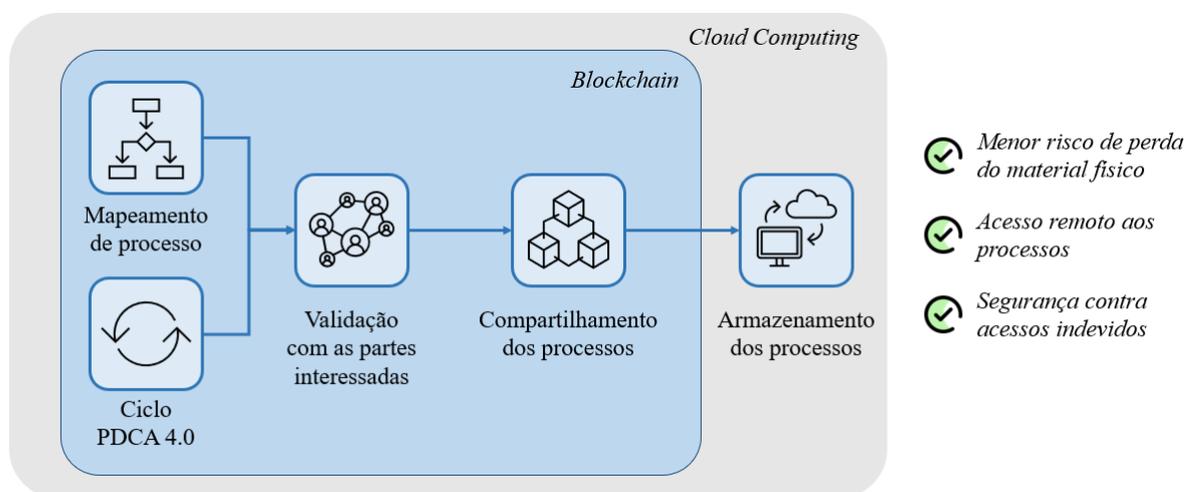


Figura 29 - Aplicação de *Blockchain* e *Cloud Computing*

Fonte: Autor (2022)

Conforme apresentado na Figura 29, o Blockchain auxilia na validação e compartilhamento dos dados de forma remota e segura. A importância dessa estrutura foi reforçada na Entrevista nº3, em que o entrevistado afirmou que um dos receios mais recorrentes na implementação de tecnologias da I4.0 é relacionado a segurança de suas informações. Por meio dessas tecnologias, cria-se um ambiente seguro e capaz de armazenar as informações necessária para seguir com as etapas do ciclo PDCA 4.0, que serão apresentadas nas seções a seguir. O Quadro 5 apresenta os principais objetivos do Ciclo PDCA e as melhorias que as tecnologias da I4.0 trazem para esse contexto.

<b>Ciclo PDCA</b>	<b>Subetapas</b>	<b>Objetivo - Subetapas</b>	<b>Melhorias - Subetapas do Ciclo PDCA 4.0</b>	<b>Ferramentas da Qualidade</b>	<b>Tecnologias da Indústria 4.0</b>
<b>P</b>	Identificação do Problema	Identificar o problema	A identificação do problema ocorre em tempo real, as tecnologias possibilitam gatilhos e, conseqüentemente, tratamentos mais rápidos.	Diagrama de Pareto, CEP	Robótica Avançada, Realidade Virtual e Aumentada, Big Data, IoT, Blockchain e Cloud Computing
	Análise da Causa Raiz	Investigar as possíveis causas raízes e entender com uma visão ampla o que causou o problema	As tecnologias da I4.0 auxiliam na coleta de problemas que o olhar humano não captaria. Possibilita-se que o entendimento da causa fundamental seja feito de forma mais completa.	Diagrama de Ishikawa, Fluxograma	IA, Big Data, Blockchain e Cloud Computing
	Análise do Processo	Analisar criticamente como o processo é feito e seus potenciais melhorias	A partir das novas tecnologias, possibilita-se um maior entendimento do processo por meio de insumos de dados e representações da realidade	Fluxograma, CEP	Big Data, Realidade Virtual e Aumentada, Big Data, Blockchain e Cloud Computing
	Criação do Plano de Ação	Criar ações a serem desenvolvidas visando bloquear as causas fundamentais e solucionar o problema	Os planos de ação podem ser melhor desenvolvidos associados à Simulação. A melhor projeção dos resultados permite a avaliação de potenciais de melhoria e a priorização de quais ações serão tomadas	Fluxograma, 5W2H	Simulação, Blockchain e Cloud Computing
<b>D</b>	Execução	Executar planos de ação	Com a clareza de todas as partes sobre os planos a serem seguidos, as tecnologias entram como apoio ao melhor treinamento dos envolvidos no processo e gerando velocidade e baixo custo para os testes necessários	Fluxograma, 5W2H	Simulação, Manufatura Aditiva, Realidade Virtual e Aumentada, Robótica Avançada, Blockchain e Cloud Computing
<b>C</b>	Verificação	Verificar se os planos de ação solucionaram o problema e bloquearam as causas raiz	O maior volume e qualidade dos dados durante a etapa de execução permitem verificar como o processo foi impactado pelas ações propostas.	CEP e Diagrama de Pareto	IoT, Big Data, Blockchain e Cloud Computing
<b>A</b>	Padronização	Implementar e padronizar as ações para prevenir contra a reincidência do problema	Visa implementar as soluções no cotidiano por meio da padronização. As tecnologias apoiarão no acompanhamento, possibilitando gatilhos de identificação do problema em tempo real, e no registro e compartilhamento das mudanças executadas.	CEP e Fluxograma	Big Data, IA, Realidade Aumentada e Virtual, Blockchain e Cloud Computing

Quadro 5 - Objetivos do Ciclo PDCA 4.0

Fonte: Autor (2022)

A seguir são detalhadas as etapas e subetapas do Ciclo PDCA 4.0 que explicam de que forma as ferramentas de qualidade podem ser utilizadas de forma conjunta com as tecnologias da Indústria 4.0, a fim de propiciar melhoria aos processos organizacionais.

## **6.1 PLANEJAMENTO (*PLAN*)**

### **6.1.1 Identificação do Problema**

Partindo para a primeira etapa dentro do planejamento no ciclo PDCA, a etapa de Identificação do Problema. Nessa etapa duas ferramentas foram citadas para auxiliar na identificação do problema: o CEP e o Diagrama de Pareto. Quanto ao CEP, os artigos se referem a como as ferramentas podem apoiar na melhoria da precisão e aplicabilidade do CEP nesse novo contexto. O autor Zan (2019) apresenta que a inteligência artificial pode ser utilizada para criar gráficos de maneira automatizada e como essa prática pode diminuir vieses existente e problemas na extração manual dos dados. E, em consonância com isso, Sølvsberg (2019) aborda o CEP sendo alimentado em tempo real como grande apoio como ferramenta preditiva, auxiliando a descobertas dos problemas presentes da empresa, ao invés de problemas do passado. Na etapa de identificação do problema, o CEP pode ser utilizado como gatilho para o início da identificação do problema, sendo que valores que estão fora do limite de controle ou processo que não estão estabilizados sinalizam a necessidade de buscar melhorias para o processo.

Em conjunto ao CEP, o Diagrama de Pareto foi colocado como uma ferramenta de apoio na priorização, ou seja, para auxiliar na tomada de decisão de quais problemas devem ser priorizados, considerando o impacto do problema no contexto geral da empresa. No estudo de caso apresentado por Silva, Borges e Magano (2021), o diagrama de Pareto é utilizado na definição de qual setor será priorizado para implementação de melhorias, apontando para o problema mais recorrente nos produtos finais.

Ambas ferramentas usufruem de tecnologias semelhantes, tendo a possibilidade de aumentar seu nível de precisão e rápida reação ao serem associadas com Big Data e Internet das Coisas, devido à rápida coleta e processamento dos dados. Em seus estudos, Rowlands e Milligan (2021), Carvalho, A. (2021) e Hamid, Masrom e Mazlan (2022) apresentam exemplos de sensores associados a Big Data para possibilitar melhores dados para os gráficos gerados no CEP. Além disso, outras tecnologias podem apoiar nessa etapa, essas são: Inteligência Artificial, Realidade aumentada e realidade virtual, conforme exemplificadas por Czvetko (2022), Diez-olivan (2019) e Corti, Masiero e Gladysz (2021).

Nesses exemplos, a Inteligência Artificial atua no apoio de *insights*, possibilitando conexões não percebidas e a geração de relações entre outros setores ou problemas já identificados, e na mitigação de vieses humanos no diagnóstico, os artigos citados acima relatam casos em que essa aplicação ocorre. A realidade aumentada e a realidade virtual apoiam, principalmente, em casos de identificação de problemas físicos, seja na inconformidade de um problema, que nesses casos é possível a identificação de problema que não seriam vistos a olho nu, ou na inconformidade de uma execução de processo, podendo ser medida por tempo do processo ou posição do trabalhador, muito aplicado em casos de segurança do trabalho para identificar possíveis riscos ao trabalhador. Os casos relacionados a realidade aumentada foram citados durante as entrevistas por especialistas que trabalham com soluções de saúde e segurança do trabalho e já obtiveram casos parecidos de êxito.

### **6.1.2 Análise das Causas Raiz**

Após a definição do problema a ser resolvido, é necessário entender-se o que está causando esse problema, ou seja, qual a sua causa raiz. Com esse objetivo, o diagrama de Ishikawa é presente nessa etapa, o estudo de Silva, Borges e Magano (2021) e Vo, Kongar e Suárez-Barraza (2020) apresentam exemplos de análises, dentro do contexto da Indústria 4.0, de aplicação dessa ferramenta para a categorização e aprofundamento das possíveis causas do problema.

Em relação as conexões do Diagrama de Ishikawa com as tecnologias da Indústria 4.0, a literatura apresenta casos em que os 6M do diagrama utilizaram dados, vindos do Big Data, trazendo uma possibilidade quantitativa para alimentar os dados do diagrama. Em conjunto, a Inteligência Artificial, segundo Ali e Johl (2021) permite os sistemas industriais de reconhecer falhas ou defeitos já analisados antes ou em diferentes setores, fornecendo análises de causa raiz em tempo real e suas recomendações de conserto.

### **6.1.3 Análise do Processo**

Seguindo para a próxima etapa do ciclo de Deming, a etapa de análise do processo que envolve o fluxograma e o CEP em seu desenvolvimento. Parte-se da premissa que o fluxograma a etapa inicial para o desenvolvimento de qualquer implementação de novas tecnologias, fator realçado por Svehla (2020). O fluxograma provê a visualização do processo por todos os envolvidos, sendo essencial para ter-se a visão sistêmica das atividades executadas e também auxilia na análise do processo. Em concordância com a literatura, os entrevistados afirmam que

o processo e a otimização do mesmo antes sequer da avaliação de automação de um processo ou uma etapa são primordiais e potencialmente evitam gastos desnecessários ou frustrações com inovações indevidas.

Ao que tange o apoio das tecnologias no mapeamento e otimização de um processo, as principais relações relatadas são com o Big Data e com a Realidade Aumentada. Nessa primeira etapa envolvendo o fluxograma, o Big Data entra com informações prévias, que podem auxiliar no mapeamento do processo e no entendimento de etapas críticas, isso permite a validação do fluxograma e, também, gera insumos para melhorias propostas no fluxo *To Be* (PEÇAS, 2021; SAIHI, 2021; VILLEGAS FORERO e SISODIA, 2021). A Realidade Virtual é inserida nesse contexto por permitir a visualização do processo criado, outro possível instrumento para melhor validação e entendimento do processo desenhado, essa conexão foi apresentada por um dos entrevistados que exemplificou com casos práticos, porém não foram encontrados exemplos na literatura.

A partir da visualização do processo, caso exista coleta de dados ou histórico do processo, é possível aprofundar uma análise do processo por meio dos gráficos do CEP. Vale ressaltar que para primeiros ciclos, em que ainda não possuem dados de processo ou a implementação de sensores está sendo iniciada, a etapa de análise pode seguir somente por entrevistas com envolvidos no processo e análise crítica, conforme apresentados no estudo de caso de Salvadorinho e Teixeira (2021). Partindo do ponto que existem formas de mensurar e tratar os dados do processo, essas informações podem servir de insumos para uma análise quantitativa do processo e dos pontos críticos mais acurado. Nos estudos de Tupa (2021) e Ruppert T e Abonyi J (2020) são exemplificadas possíveis análises estatísticas que podem auxiliar na análise dos processos.

#### **6.1.4 Criação dos Planos de Ação**

Avançando para a última etapa de planejamento do ciclo PDCA, a etapa de criação de plano de ação, observa-se a permanência do fluxograma, porém com uma função diferente, e a adição da ferramenta 5W2H. Ao início da etapa o fluxograma entra com uma função complementar a anterior, apoiar na visão crítica do processo e formalizar o que será executado. Em seguida, o 5W2H segue com as suas características originais, de tornar claro para todos os envolvidos: o que será feito, por que será feito, como será feito, quem será responsável, quanto custará essa execução, onde e quando isso será realizado. Essas ferramentas em conjunto com

tecnologias da I4.0 apoiaram na decisão de quais ações ou implementações serão executadas para solucionar ou mitigar o problema encontrado nas etapas anteriores.

Nessa etapa as tecnologias geram uma nova possibilidade para a metodologia, de projetar com maior precisão os resultados dos planos de ação. Ruppert e Abonyi (2020), Efimova e Bris (2021) e Saihi, Awad e Bem-daya (2021) mostram o uso da Simulação e da Realidade Virtual aliadas ao fluxograma com esse propósito. A respeito do 5W2H, não foi encontrado um volume de artigos relacionados à essa ferramenta, o principal insumo para a adaptação à Indústria 4.0 foi o trabalho de Correia, Teixeira e Marques (2021) que cita o 5W2H para apoiar na cadeia de suprimentos e o relaciona com IA. A partir desse trabalho observou-se que com a digitalização da ferramenta, possibilitada por meio do *Blockchain* e da *Cloud Computing*, a Inteligência Artificial pode ser usada para atualizações e geração de atividades automáticas baseadas em cenários recorrentes, como o cenário demonstrado por Ali e Johl (2021).

Finalizando a etapa de planejamento, é tido como premissa que a empresa tem atividades estruturadas e clareza dos responsáveis pela execução, nessa etapa são necessários alinhamento e treinamento das partes interessadas para garantir que as ações sejam executadas. Sendo assim, a ferramenta 5W2H e o fluxograma, já modelo para a versão *To Be*, seguem como orientadores para os planos de ação a serem cumpridos. As definições dessa etapa serão os guias para a Execução, que será apresentada na seção 6.2.

## **6.2 EXECUÇÃO (DO)**

Na etapa de execução estão incluídos o preparo dos envolvidos nos planos de ação e a execução das ações definidas. Associadas a planos de ação que envolvem treinamentos, as tecnologias da Indústria 4.0 agregam valor ao garantir a segurança dos funcionários e otimização de custo para a empresa. Nos artigos de Ali e Johl (2021), Carvalho, A. (2021) e Dias, Carvalho e Sampaio (2021) a realidade virtual e aumentada, a simulação e a inteligência artificial são apresentadas visando melhorar as competências dos atores do processo ao prover uma experiência semelhante à realidade e um ambiente controlado para aprendizado e melhoria.

Além disso, para casos de desenvolvimento ou melhorias de produtos físicos, por exemplo para melhoria de funcionalidade ou de design, a manufatura aditiva e a robótica avançada foram apontadas pelos entrevistados como forma de prototipagem rápida de novos modelos.

Durante todo esse processo, os resultados e aprendizados da execução devem ser coletados, se possível com o uso de tecnologias como IoT para coleta em tempo real e posterior mineração por meio do Big Data. A coleta gerará os insumos necessários para a etapa de Verificação, que será apresentada na seção 6.3.

### **6.3 VERIFICAÇÃO (CHECK)**

Ao iniciar a etapa de verificação do ciclo PDCA essas informações serão insumos para verificar o que foi realizado e se as ações sanaram os problemas identificados. Nessa etapa os gráficos do CEP e Pareto entram para apoiar na análise dos dados, serão gerados a partir das análises coletadas. A partir desses dados será avaliado se o problema inicial foi solucionado e registrar as lições aprendidas e melhorias que ocorreram durante a execução. Essa etapa tem por objetivo consolidar e tratar os dados gerados a partir da etapa anterior.

### **6.4 PADRONIZAÇÃO (ACT)**

A última etapa do ciclo PDCA é a Ação, a etapa na qual as melhorias ou inovações verificadas na etapa anterior serão padronizadas nas rotinas da empresa. Nessa etapa os gráficos estatísticos são usados para acompanhamento do processo que, semelhante às outras aplicações citadas junto ao CEP e ao diagrama de Pareto, utilizam tecnologias de IoT e Big Data para fornecerem informações em tempo real.

Além dos gráficos, o fluxograma é necessário nessa etapa para manutenção da informação, ou seja, garantir que os envolvidos no processo podem revisita-lo em casos de dúvida. Segundo Efimova e Bris (2021) uma fábrica 4.0 é baseada na transparência e conexão entre os processos, que é garantida por meio dos fluxogramas e do apoio da *Cloud Computing* com *Blockchain*.

Nessa etapa as tecnologias da Indústria 4.0 se mostram presentes para apoiar em treinamentos e inspeção de processos ou produtos, por meio da Realidade Virtual. Além dessas tecnologias, existe a possibilidade da aplicação da Inteligência Artificial para criação de um processo autônomo, que pode gerar insights e correções ou atualizações do processo no próprio fluxograma ((DIAS; CARVALHO; SAMPAIO, 2021).

Esse modelo de Ciclo PDCA 4.0 abre oportunidade para implementação de melhorias ou de novas tecnologias por meio de um processo que utiliza de ferramentas da qualidade e tecnologias disponíveis no mercado. Acredita-se que com o apoio dessa estrutura as decisões e melhorias na era digital serão feitas com maior precisão e resultado.

## 7 CONCLUSÃO

A integração entre as ferramentas da qualidade e as novas tecnologias da Indústria 4.0 criou novas possibilidades e abriu espaço para a criação de uma gestão da qualidade mais orientada a dados e, conseqüentemente, mais precisa em suas análises e resultados. Essa relação é mutuamente benéfica pois as tecnologias de Indústria 4.0 também podem utilizar de conceitos e ferramentas para melhor se adaptarem ao contexto das empresas, estudo já comprovam uma relação positiva entre esses fatores.

O estudo apresentou o Ciclo PDCA 4.0, que relaciona as principais ferramentas da qualidade citadas na literatura ao contexto da Indústria 4.0 e identificou as possibilidades de aplicações e apoio que esse uso conjunto pode promover. Com isso, atingiu-se o objetivo de pesquisa de analisar como a Indústria 4.0 e suas novas tecnologias impactam e apoiam na aplicação das ferramentas tradicionais da gestão da qualidade.

A partir dos resultados encontrados, percebe-se que as etapas do Ciclo PDCA 4.0 orientam por meio das suas etapas para a melhor implementação de novas tecnologias, podendo ser utilizado como roteiro para possibilitar a inserção de inovações na organização, inclusas as tecnologias da I4.0 como oportunidade de inovação.

Os resultados da pesquisa mostram que, para cada ferramenta da qualidade e cada tecnologia, existem diferentes benefícios e cenários de aplicação, porém que todos tem algo em comum: a necessidade de integração, fator imprescindível para a Indústria 4.0, entre as equipes de tecnologias e qualidade. Mostrou, também, que as ferramentas da qualidade não perdem relevância nesse novo contexto tecnológico e não podem ser negligenciadas, mas sim possuem papel complementar com a era digital.

Nesse contexto, Indústria 4.0 somente reforçou que a aplicação das ferramentas da qualidade precisa apresentar objetivos claros e resultados efetivos associados ao conhecimento das ferramentas, caso contrário o volume de dados e tecnologias disponíveis não conseguirão ser transformados em informações agregadoras para a organização. Ou seja, quando aplicadas corretamente, as ferramentas seguem com relevância frente à nova realidade das tecnologias. Assim, propôs-se caminhos e oportunidades de uso das ferramentas conjuntas as tecnologias, tendo como base o Ciclo PDCA 4.0, visando aumentar o valor e efetividade da implementação de novas ferramentas nas organizações e melhorar as análises das ferramentas da qualidade por meio de tecnologias, aumentando sua precisão e agilidade de aplicação.

Como limitação da pesquisa pode-se mencionar a restrição do número de publicações devido às *strings* de busca utilizados e a restrição da língua pois somente artigos em português e inglês foram utilizados para a presente pesquisa.

Para pesquisas futuras, sugere-se a inclusão de outras ferramentas da qualidade e novas aplicações práticas desses elementos em conjunto, visando analisar outros potenciais benefícios e a aceitação do modelo dentro das organizações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMO, G.; D'ANGELO, C. A.; DI COSTA, F. Research collaboration and productivity: is there correlation? **Higher Education**, v. 57, n. 2, p. 155–171, 16 fev. 2009.

ALCÁCER, V.; CRUZ-MACHADO, V. Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. **Engineering Science and Technology, an International Journal**, v. 22, n. 3, p. 899–919, jun. 2019.

ALI, Kashif; JOHL, Satirenjit Kaur. Soft and hard TQM practices: future research agenda for industry 4.0. **Total Quality Management & Business Excellence**, p. 1-31, 2021.

AMMAR, M. et al. Improving material quality management and manufacturing organizations system through Industry 4.0 technologies. **Materials Today: Proceedings**, v. 45, p. 5089–5096, 1 jan. 2021.

ASIF, M. Are QM models aligned with Industry 4.0? A perspective on current practices. **Journal of Cleaner Production**, v. 258, p. 120820, jun. 2020.

AZEVEDO, M. T. DE. **Transformação digital na indústria: indústria 4.0 e a rede de água inteligente no Brasil**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 29 jun. 2017.

BEHR, A.; MORO, E. L. DA S.; ESTABEL, L. B. Gestão da biblioteca escolar: metodologias, enfoques e aplicação de ferramentas de gestão e serviços de biblioteca. **Ciência da Informação**, v. 37, p. 32–42, 2008.

BIBBY, L.; DEHE, B. Defining and assessing industry 4.0 maturity levels – case of the defence sector. **Production Planning & Control**, v. 29, n. 12, p. 1030–1043, 10 set. 2018.

BOGDAN, R.; BIKLEN, S. Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos. Em: [s.l.] Porto editora, 1994.

CAMPOS, V. F. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia**. 9ª Ed. ed. Nova Lima: Editora FALCONI, 2013.

CARLINO, C.; JUNIOR, M. F. Aplicação da Ferramenta da Qualidade (Diagrama de Ishikawa) e do PDCA no Desenvolvimento de Pesquisa para a reutilização dos Resíduos Sólidos de Coco Verde. Application Tool Quality (Ishikawa Diagram) and PDCA in Development Research for the Reuse of Solid Waste Coco Verde. **INGEPRO - Inovação, Gestão e Produção**, v. 02, n. 09, 2010.

CARMIGNIANI, J.; FURHT, B. Augmented Reality: An Overview. Em: **Handbook of Augmented Reality**. New York, NY: Springer New York, 2011. p. 3–46.

CARVALHO, A., et al. "Technology and quality management: a review of concepts and opportunities in the digital transformation." International Conference on Quality Engineering and Management (ICQEM), 2020

CARVALHO, A. V. et al. Quality 4.0: An Overview. **Procedia Computer Science**, v. 181, p. 341–346, 2021.

CERQUEIRA, J. P. DE. **Sistemas de Gestão Integrados**. Conceitos e aplicações. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2007.

CHAIB, E. B. D. Proposta para Implementação de Sistema de Gestão Integrada de Meio Ambiente, Saúde e Segurança do Trabalho em Empresas de Pequeno e Médio Porte: Um Estudo de Caso da Indústria Metal-Mecânica. 2005.

CHIARINI, A. Industry 4.0, quality management and TQM world. A systematic literature review and a proposed agenda for further research. **The TQM Journal**, 2020.

CHAVES, S.; Campello M. "A qualidade e a evolução das normas série ISO 9000." *Gestão pela qualidade* 3 (2016): 19-34.

CZVETKÓ, T. et al. Data-driven business process management-based development of Industry 4.0 solutions. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 36, p. 117-132, 2022.

COBO, M. J. et al. SciMAT: A new science mapping analysis software tool. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, v. 63, n. 8, p. 1609–1630, ago. 2012.

CORREIA, D.; TEIXEIRA, L.; MARQUES, J.. Smart Supply Chain Management: The 5W1H Open and Collaborative Framework. In: **2021 IEEE 8th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)**. IEEE, 2021. p. 401-405.

CORTI, D.; MASIERO, S.; GLADYSZ, B. Impact of Industry 4.0 on Quality Management: identification of main challenges towards a Quality 4.0 approach. In: **2021 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)**. IEEE, 2021. p. 1-8.

ČREŠNAR, R.; POTOČAN, V.; NEDELKO, Z. Speeding Up the Implementation of Industry 4.0 with Management Tools: Empirical Investigations in Manufacturing Organizations. **Sensors**, v. 20, n. 12, p. 3469, 19 jun. 2020.

DE MELLO CORDEIRO, José Vicente B. Reflexões sobre a Gestão da Qualidade Total: fim de mais um modismo ou incorporação do conceito por meio de novas ferramentas de gestão?. **Revista da FAE**, v. 7, n. 1, 2004.

DEMING, W. E. **Out of the Crisis**. [s.l.] The MIT Press, 2018.

DIAS, A. M.; CARVALHO, A. M.; SAMPAIO, P. Quality 4.0: literature review analysis, definition and impacts of the digital transformation process on quality. **International Journal of Quality & Reliability Management**, 14 out. 2021.

DIEZ-OLIVAN, A. et al. Data fusion and machine learning for industrial prognosis: Trends and perspectives towards Industry 4.0. **Information Fusion**, v. 50, p. 92-111, 2019.

DIGROCCO, J. R. Ferramentas da Qualidade. **Administradores, São Paulo**, v. 19, 2008.

ERBOZ, G. How to define industry 4.0: main pillars of industry 4.0. **Managerial trends in the development of enterprises in globalization era**, v. 761, p. 767, 2017.

EFIMOVA, A.; BRIŠ, P. Quality 4.0 for processes and customers. **Quality Innovation Prosperity-Kvalita Inovacia Prosperita**, 2021.

ESCOBAR, C; MCGOVERN, M.; MORALES-MENENDEZ, Ruben. Quality 4.0: a review of big data challenges in manufacturing. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 32, n. 8, p. 2319-2334, 2021.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza, 2002.

GARVIN, D. A. Gerenciando a qualidade: a visão estratégica e competitiva. Em: **Gerenciando a qualidade: a visão estratégica e competitiva**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda, 1992

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 2 ed. ed. [s.l.] EDITORA ATLAS, 2002.

GLOBERSON, S.; FRAMPTON, J. **You Can't Manage What You Don't Measure. Controle and evaluation in organizations**. Avebury. 1991.

GRÁCIO, M. C. C. Acoplamento bibliográfico e análise de cocitação: revisão teórico-conceitual. **Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**, v. 21, n. 47, p. 82, 12 set. 2016.

GUNASEKARAN, A.; SUBRAMANIAN, N.; NGAI, W. T. E. **Quality management in the 21st century enterprises: Research pathway towards Industry 4.0. International journal of production economics** Elsevier, , 2019.

HAMID, M.; MASROM, N. R.; MAZLAN, N. A. B.. The key factors of the industrial revolution 4.0 in the Malaysian smart manufacturing context. **International Journal of Asian Business and Information Management (IJABIM)**, v. 13, n. 2, p. 1-19, 2022.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. **Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios**. 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS). **Anais...IEEE**, jan. 2016.

HEYINK, J. W.; TYMSTRA, TJ. The function of qualitative research. **Social Indicators Research**, v. 29, n. 3, p. 291–305, jul. 1993.

IRaMuTeQ. Version 0.7 alpha 2. Laboratoire LERASS, 2008 – 2022 Pierre Ratinaud. Disponível em: <<http://www.iramuteq.org/>>. Acesso em: 02 setembro 2022.

JOHNSON, S. Quality 4.0: A trend within a trend. **Quality**, v. 58, n. 2, p. 21-23, 2019.

LIMA, G. P. et al. Aplicação da metodologia PDCA no desenvolvimento de compósitos biodegradáveis de fibra de coco e amido modificado. **Revista Eletrônica Produção & Engenharia**, v. 10, n. 1, p. 815–826, 1 jun. 2021.

MAREČEK-KOLIBISKÝ, M.; KUČEROVÁ, M. **Application of quality management in business practice in the context of industry 4.0**. 2021. Disponível em: <<https://www.confer.cz/metal/2021/4280-application-of-quality-management-in-business-practice-in-the-context-of-industry-4-0>>

MARIA, D.; ABREU MAIA, J.; MARTINS FORMIGA FERNANDES, R. **APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DA QUALIDADE NA FINALIZAÇÃO DE ORÇAMENTOS EM UMA EMPRESA DE COMUNICAÇÃO VISUAL**. XXXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 2017.

MATA-LIMA, H.; UMA, D. /. **APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DA GESTÃO DA QUALIDADE E AMBIENTE NA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS**. Universidade da Madeira. 2007.

MELLO, M. F. et al. A importância da utilização de ferramentas da qualidade como suporte para melhoria de processo em indústria metal mecânica – um estudo de caso. **Exacta**, v. 15, n. 4, 28 dez. 2017.

MELO MARIANO, A.; ROCHA SANTOS, M. Revisão da Literatura: Apresentação de uma Abordagem Integradora Structural Equations View project Service Quality View project. In: **XXVI Congreso Internacional de la Academia Europea de Dirección y Economía de la Empresa (AEDEM)**, n. September, pv. 2017.

MESQUITA, M.; ALLIPRANDINI, D. H. Competências essenciais para melhoria contínua da produção: estudo de caso em empresas da indústria de autopeças. **Gestão & Produção**, v. 10, n. 1, p. 17–33, abr. 2003.

MIGUEL, P. A. C. **Qualidade: enfoques e ferramentas**. 1. ed. São Paulo: Artliber, 2006.

MINAYO, M. C. DE S. Análise qualitativa: teoria, passos e fidedignidade. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 3, p. 621–626, mar. 2012.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico de qualidade**. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

MORGADO, R. DE C. O business process management (bpm) como ferramenta de apoio na gestão de software. 2021.

MOURTZIS, D.; VLACHOU, E.; MILAS, N. Industrial Big Data as a Result of IoT Adoption in Manufacturing. **Procedia CIRP**, v. 55, p. 290–295, 1 jan. 2016.

NARULA, S. et al. Industry 4.0 adoption key factors: an empirical study on manufacturing industry. **Journal of Advances in Management Research**, v. 17, n. 5, p. 697–725, 1 ago. 2020.

PALADINI, E. P. Gestão da qualidade: teoria e prática. Em: **Gestão da qualidade: teoria e prática**. 4ª Ed., Editora Atlas, 26 jun. p. 339. 2019.

PEÇAS, P. et al. Pdca 4.0: A new conceptual approach for continuous improvement in the industry 4.0 paradigm. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 11, n. 16, 2 ago. 2021.

REINERT, M. A. une méthodologie d'analyse des données textuelles et une application: Aurélia de G. de Nerval. *Bulletin de Méthodologie Sociologique*, (28), 24-54. 1990.

PACHECO, R. Evolução da Gestão da Qualidade: uma análise por meio da revisão bibliográfica sistemática. 2018.

ROWLANDS, H.; MILLIGAN, S. Quality-driven industry 4.0. In: **Key Challenges and Opportunities for Quality, Sustainability and Innovation in the Fourth Industrial Revolution: Quality and Service Management in the Fourth Industrial Revolution—Sustainability and Value Co-creation**. 2021. p. 3-30.

RUPPERT, T; ABONYI, J. Integration of real-time locating systems into digital twins. **Journal of industrial information integration**, v. 20, p. 100174, 2020.

SAIHI, A.; AWAD, M.; BEN-DAYA, M. Quality 4.0: leveraging Industry 4.0 technologies to improve quality management practices – a systematic review. **International Journal of Quality & Reliability Management**. 2021.

SALVADORINHO, Juliana; TEIXEIRA, Leonor. Organizational knowledge in the I4. 0 using BPMN: a case study. **Procedia Computer Science**, v. 181, p. 981-988, 2021.

SANTOS, D. B. P.; BARBOSA, E. E. F. **MANUFATURA DIGITAL NO PLANEJAMENTO DA AUTOMAÇÃO DA USINAGEM DE COMPONENTES POWERTRAIN**. Anais do XXIII Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva. **Anais...São Paulo: Editora Edgard Blücher, set. 2015.**

SANTOS, V. IRAMUTEQ nas pesquisas qualitativas brasileiras da área da saúde: scoping review. **CIAIQ 2017**, v. 2, 2017.

SCHWAB, K. The Fourth Industrial Revolution. **Quality Management Journal**, v. 25, n. 2, p. 108–109, 3 abr. 2016.

SILVA, C. S.; BORGES, A. F.; MAGANO, J. Quality Control 4.0: a way to improve the quality performance and engage shop floor operators. **International Journal of Quality & Reliability Management**, 13 dez. 2021.

SILVEIRA, D. T.; CÓRDOVA, F. P. A pesquisa científica. **Métodos de pesquisa. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. p. 33-44, 2009.**

SMALL, H.; SWEENEY, E. Clustering the science citation index® using co-citations. **Scientometrics**, v. 7, n. 3, p. 391–409, 1985.

SØLVBERG, E. **Extending Statistical Process Control using quantitative methods in Industry 4.0 approaches**. 2019. Dissertação de Mestrado. NTNU.

SOMASUNDARAM, M.; JUNAID, K. A. M.; MANGADU, S. Artificial Intelligence (AI) Enabled Intelligent Quality Management System (IQMS) For Personalized Learning Path. **Procedia Computer Science**, v. 172, p. 438–442, 2020.

SONY, M; ANTONY, Jiju; DOUGLAS, Jacqueline Ann. Essential ingredients for the implementation of Quality 4.0: a narrative review of literature and future directions for research. **The TQM Journal**, 2020.

SVEHLA, M. et al. The role of process management in the context of industry 4.0. In: **Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Dubai, UAE**. 2020.

- TAMBARE, P. et al. Performance Measurement System and Quality Management in Data-Driven Industry 4.0: A Review. *Sensors*, v. 22, n. 1, p. 224, 29 dez. 2021.
- TOLEDO, J.C. et al. **Qualidade: gestão e métodos**. Rio de Janeiro: LTC, 2014
- TOMIC, B. Inspection in quality 4.0. *Quality*, v. 59, n. 7, p. 18–19, 2020.
- TORTORELLA, G. L.; DA SILVA, E. F.; VARGAS, D. B. **An empirical analysis of Total Quality Management and Total Productive Maintenance in Industry 4.0**. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. *Anais...2018*.
- TUPA, J.; STEINER, F. Industry 4.0 and business process management. *Tehnički glasnik*, v. 13, n. 4, p. 349–355, 11 dez. 2019.
- USTUNDAG, A.; CEVIKCAN, E. **Industry 4.0: Managing The Digital Transformation**. Cham: Springer International Publishing, 2018.
- VIEIRA, S. Como elaborar questionários. Em: **Como elaborar questionários**. [s.l: s.n.]. p. 159.
- VILLEGAS FORERO, Daniel; SISODIA, Raoul. **Quality 4.0-How to Handle Quality in the Industry 4.0 Revolution**. 2020. Tese de Doutorado. PhD Thesis.
- VO, B.; KONGAR, E.; SUÁREZ-BARRAZA, M. F. Root-cause problem solving in an Industry 4.0 context. *IEEE Engineering Management Review*, v. 48, n. 1, p. 48-56, 2020.
- VOSviewer. Version 1.6.18. Centre for Science and Technology Studies, Leiden Universiteit. The Netherlands. Disponível em: < <https://www.vosviewer.com/>>. Acesso em: 02 setembro 2022.
- WERKEMA, M. C. C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni. 2006.
- WILLIAMS, Richard L. **Como implementar a qualidade total na sua empresa**. Campus, 1995.
- YAN, Y. et al. **Blockchain technology in the internet plus: The collaborative development of power electronic devices**. IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. *Anais...IEEE*, out. 2017.
- YUAN, W. et al. The Statistical Analysis and Evaluation of Examination Results of Materials Research Methods Course. *Creative Education*, v. 03, n. 07, p. 162–164, 2012.
- ZAN, T et al. Statistical process control with intelligence based on the deep learning model. *Applied Sciences*, v. 10, n. 1, p. 308, 2019.
- ZONNENSHAIN, A.; KENETT, R. S. Quality 4.0—the challenging future of quality engineering. *Quality Engineering*, v. 32, n. 4, p. 614–626. 2020.

